无线电

CONTENTS

2012年合订本（下）

目 录

特别策划

镜观宇宙四百年 ◇薛加民 001

直流电机入门解读 ☆ ◇温正伟 008

热烈欢迎机器人军团！ 013

Spazzi：电磁舞蹈机器人 ◇马雷克·米查罗斯基 014

教学：旧玩具新花样 ◇DJ.舒尔斯 018

低成本激光投影键盘自制攻略（上）

◇陈士凯 RoboPeak团队 023

低成本激光投影键盘自制攻略（下）

◇陈士凯 RoboPeak团队 029

那些年我们一起读过的《无线电》 034

无线电技术发展的展望（总第1期） ◇卢宗澄 035

读《无线电技术发展的展望》有感 ◇陈平（BA1HAM） 037

矿石收音机怎样接收广播（总第1期） ◇林葆洌 038

怎样测试检验扬声器（总第100期） ◇张启海 040

“电子讲解员”（总第100期） ◇陈阆琪 043

激光光纤维通信（总第200期） ◇黄定国 045

新颖的触摸式电子互锁开关（总第300期） ◇孙伟 048

多媒体技术的应用与发展（总第400期） ◇秦崎 050

一款简洁优秀晶体管功放的设计制作（总第500期）

◇范志庆 何银平 052

我的实验室

仪器发烧友与仪器的简易校准 ◇杨法（BA4AAF） 054

爱上制作

精彩创意

玩转伺服跟踪2

可以锁定目标的2自由度光电跟踪头 ◇臧海波 060

利用无线路由器将普通摄像头改造成无线摄像头☆

◇蒋瑞挺 064

让你的静态船模动起来吧！ ◇冯奕 066

线控变色龙机器人 ◇pvcbot 070

Wi-Fi视频小车DIY手记——“闪开”小车的成名之路

◇程晨 076

现实版铁甲钢拳来了!☆ ◇程晨 079

Arduino与LEGO结合的创意作品

——温控风扇和光感应晾衣架☆ ◇宜昌城老张 084

一起用面包板自制Arduino吧！ ◇郝弘毅 088

制作CUBE4彩色光立方 ◇杜洋 090

现实版铁甲钢拳来了!威力加强版☆ ◇程晨 096

静态军用车辆模型遥控化改造详解 ◇方震宇 099

用PVC材料自制经典的风力小车 ◇pvcbot 104

用Adruino重建机器龟 ◇臧海波 108

6足机器人制作全攻略 ◇臧海波 113

创新DB1☆ ◇杜洋 119

当辉光管成为开源硬件☆ ◇严泽远 官微宏 123

用Arduino驱动触摸屏☆ ◇毛小明 128

基于DB1的彩色立方灯和电子骰子☆ ◇杜洋 130

Arduino全电控乐高机械手小车☆ ◇宜昌城老张 134

让铁甲钢拳随你而动臂带式体感交互控制器DIY☆

◇程晨 138

2012年合订本（下）目录 CONTENTS

会打BB弹、带激光瞄准的简易遥控履带火炮 ◇方震宇 141

通过Android手机控制Arduino互动机器人（上） ◇朱广俊 尚春明 郭强 刘定杨 144

用Arduino自制鼠标 ◇程晨 149

火神——打造自己的数控焰火 ◇臧海波 152

通过手势控制的体感音响 ◇汤志强 157

实用电路

自制米字荧光屏时钟☆ ◇张锋 162

为普通开关增设延时关闭功能☆ ◇宋彦涛 168

巧妙的家用电器锁控开关 ◇车亚平 张爱迪 170

LED金字塔☆ ◇刘小平 李志远 172

自制50M采样率的USB接口示波器☆ ◇孙红生 代锡泉 175

制作1.5英寸OLED真彩色指针式电子表☆ ◇张锋 178

手把手教你做开关电源 ◇任杰 184

红外激光 “超级无敌掌门狗” ◇陈强 190

Arduino CP2102版本完美DIY☆ ◇丁丁 194

双通道电机控制器☆ ◇张彬杰 197

精密数控电源自制全攻略 ◇蒋政淼 200

改进电路制作的点阵VFD屏时钟☆ ◇张锋 206

那些年我们一起装过的套件——Elecraft K2 ◇荣新华（BD6CR/4） 212

自制功能全面的DSP收音机☆ ◇刘作新 216

LED小灯瓶 ◇张彬杰 221

用IW3620制作高性能LED驱动电源 ◇任杰 224

自制板卡检测利器——四态逻辑测试笔 ◇孙洋 228

自制通用2002荧光字符显示模块 ◇张锋 230

四时段倒计时提示器 ◇周宝善 237

简便易用的1.5~30V可调电源 ◇张松峰 238

DIY一款笔记本电脑电源适配器 ◇任杰 240

1888时钟屏的制作 ◇曹延焕 244

第二代RDS数据寻址广播技术及应用 ◇唐亚军 249

玩转单片机

GSM短信收发控制系统的设计☆ ◇周兴华 250

基于51单片机的自行车轮LED图案显示☆ ◇张琦 256

开发板妙用——软硬一体的定时消息通知器☆ ◇李广 258

单片机开发实例及程序研究

反射式红外测速仪DIY☆ ◇周兴华 261

感应式收纳桶☆ ◇张彬杰 264

51单片机控制的骨牌时钟☆ ◇Chinked-out工作室 267

简易PLC DIY☆ ◇尚程程 270

单片机开发实例及程序研究

小型桌面式自动绕线机控制器的设计及制作☆ ◇周兴华 272

利用单片机与CPLD设计的等精度频率计☆ ◇周兴华 275

快速追踪器——记录快件经历的风风雨雨☆ ◇成谏 278

基于STC89C52和nRF905模块的无线打分器☆ ◇盘桥富 卞晓强 边晓明 281

单片机开发实例及程序研究

红外感应自动移门的设计☆ ◇周兴华 286

实战AVR机器人小车（上）☆ ◇席卫平 290

Relay 8 诞生记☆ ◇王斌 294

单片机开发实例及程序研究

RFID卡读写器的设计 ◇周兴华 299

实战AVR机器人小车（下） ◇席卫平 304

基于HMC5883L的电子罗盘 ◇蒋瑞挺 307

用Arduino扩展网络摄像头的I/O端口 ◇温正伟 310

音频工坊

别具韵味的音乐体验——Performance A100功放制作随笔 ◇卢伟 320

三款分立元件设计的D类功放的制作比较 ◇任杰 312

2012年合订本（下）目录

CONTENTS

适合初学者仿制的MOSFET单端甲类功放 ◇HE121 318

电子管功放DIY——“鱼与熊掌兼得”☆ ◇胡乃群 323

JLH1969 OTL耳放制作 ◇易方 刘婷月 328

用实验板做USB多媒体放大器 ◇吴岩 332

分体式“可变声道”功放的设计与制作☆ ◇吴刚 337

FU-19推挽功放制作 ◇江放 刘华栋 342

一款高品质大型三分频落地式音箱的设计制作 ◇名琴 345

发现被埋没的靓管之旅 ◇王永锋 348

低内阻三极管6C19功率放大器 ◇江放 350

极致DIY——复刻经典纯后级 ◇韩镄（BG5CJT） 354

NEO Jukebox 25 Ⅱ 型硬盘式MP3播放器终极改造 ◇林伟淏 358

热情难挡——记2012年广西柳州首界音响发烧友DIY作品交流联谊会 ◇JR 黄文华 365

自制经典的1875功放 ◇艺何 366

一款独特的“茶海”胆机制作 ◇夏冰 368

创客与开源

2012年湾区Maker Faire参展记 ◇叶琛 370

新车间Arduino图形化编程软件——ArduBlock ◇宜昌城老张 373

“盒仔”家里造☆ ◇朱广俊 郭强 赵慰 376

Yeelink——开源硬件Arduino与物联网开放服务平台 ◇姜兆宁 381

Raspberry Pi夏日之初体验 ◇陈建皓 384

开源的光立方

3D8S的设计理念与开发心得——基于Arduino的8×8×8光立方☆ ◇官微宏 390

单片机版光立方的制作☆ ◇刘小平 李志远 394

2012纽约Maker Faire新鲜作品随我看 ◇孙德庆 400

记2012上海创客嘉年华 ◇林尧 徐骁雯 402

我的实验室

示波器ABC

基础操作很重要 ◇杨法（BD4AAF） 406

DIY电动吸锡烙铁 ◇蒋政淼 410

示波器ABC

让频谱分析仪成为信号捕捉的高手 ◇杨法（BD4AAF） 412

RIGOL DS2202示波器试用体会 ◇臧海波 416

示波器ABC

频谱分析仪高级操作进阶 ◇杨法（BD4AAF） 420

2012 年 通用测量仪器市场大盘点 ◇杨法（BA4AAF） 424

自制智能型ICL7135四位半表头 ◇康禹 430

RIGOL生产基地参观记 ◇本刊记者 434

示波器族的小精灵 ◇聆听 436

初学者园地

面包板入门电子制作（5）

电路中的“水龙头”——三极管 ◇杜洋 439

安卓手机上的无线电应用 ◇张峥（BG8SF） 442

常用元器件的识别与使用（32）

牺牲自我的保险器件 ◇张晓东 447

用好保险器件8要素 ◇姜伟伊 450

全国“少年电子技师”认定活动专栏

关于在全国深入开展“少年电子技师”认定活动的通知 453

全国“少年电子技师”认定活动认定单位的审核标准及申请办法（试行） 454

全国“少年电子技师”认定活动导师资格的审核标准及申请办法（试行） 455

电机解读系列之

解读步进电机 ◇温正伟 456

全国“少年电子技师”认定活动专栏

2012年全国青少年电子制作锦标赛在广州顺利举行 ◇本刊记者 461

2012年合订本（下）目录

CONTENTS

国家级中职电子专业骨干教师“PVCBOT仿生机器人制作”培训实践活动成功举办 ◇李衡延 462

全国“少年电子技师”认定活动专栏

有关全国“少年电子技师”认定活动问题的解答 463

南京三中业余无线电校本课程的开发与实践 ◇王龙（BA4RX） 464

常用元器件的识别与使用（33）

历史悠久的电子管 ◇张晓东 466

电机解读系列之

舵机那点事儿 ◇温正伟 470

用好手中的电子管 ◇张晓东 474

能识别方向的迎宾器 ◇俞虹 478

三轮小车 ◇pvcbot 480

认识DSP收音机 ◇刘作新 485

全国“少年电子技师”认定活动专栏

从电子百拼玩到“少年电子技师” ◇李娅君 488

基于DB1的人体感应灯开关 ◇杜洋 490

全国“少年电子技师”认定活动专栏

月牙湖畔的科技教育之星 ◇张元庆 493

关于举办2013年“全国少年电子技师”认定活动导师培训班的通知 496

广播爱好者

收藏与鉴赏

熊猫301A三灯收音机史话 ◇陈汉燕 徐蜀 498

德生S2000收音机使用锂电池供电的方法 ◇张建雄 497

拯救有收藏价值的收音机

德律风根（Kavalier）交-直流电子管收音机维修全过程☆ ◇赵春云（BA3DX） 500

普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月（上） ◇田浩 502

拯救有收藏价值的收音机

飞利浦电子管收音机维修全过程☆ ◇赵春云（BA3DX） 506

图解牡丹648型半导体收音机复原全过程☆ ◇赵春云（BA3DX） 509

普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月（中） ◇田浩 511

普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月（下） ◇田浩 515

拯救有收藏价值的收音机

上海牌312型七晶体管四波段二级收音机的修复☆ ◇赵春云（BA3DX） 520

追忆熊猫B-802收音机 ◇陈金林 522

Telefunken Opus Royal Stereo型落地式收音电唱两用机详析 ◇田浩Jon Stonehouse Jr.（美） 524

来到武汉的“上海”——上海系列7灯收音机小史 ◇田浩 527

德生收音机充电器DC-06改造记 ◇zhazha 530

维修帮手

红外遥控电源插座原理与检修 ◇余俊芳 532

吸尘器工作原理与常见故障检修 ◇王绍华 533

佳能A95相机维修手记 ◇刘福胜 王眈 534

全自动洗衣机报警保护维修一点通 ◇潘邦文 536

自己动手修理语音复读机 ◇金克华 537

笔记本硬盘复活记 ◇蒋政淼 538

日立V-1565示波器维修手记 ◇潘志浪 539

铲牛屎，换硬封，修复VC9801 ◇康禹 542

自己动手更换卡片相机镜头 ◇刘福胜 544

问与答 545

注：加☆的文章表示注文的相关资料或程序可在本刊网站www.radio.com.cn或本书配刊光盘中获取。

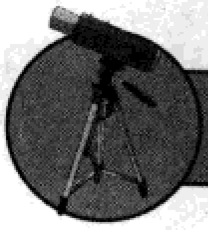
镜观宇宙四百年

◇薛加民 插画：某某银

17世纪初，望远镜刚刚被发明出来，大家用这个新鲜玩意儿可以观看到远处的花鸟人物，颇为有趣。新发明的消息传到了意大利，伟大的物理学家伽利略先生对花鸟不是很感兴趣，但是他很快制作了一架自己的望远镜，对宇宙的好奇使他把望远镜对向茫茫苍穹。于是人类第一次看到了月球表面凹凸不平的环形山，看到了木星周围还有3颗小卫星……人类对于宇宙的探索从此开始了新的篇章。为纪念这一历史性的时刻，伽利略第一次望远镜天文观测后的第400年，也就是2009年，被联合国定为“国际天文年”，在全球范围内普及天文学知识。而天文学家的实验工具——望远镜也成了天文年的主角之一。

笔者最近去参观了世界最大的光学望远镜制造基地，他们正在制作一个等效直径24m的大望远镜，从单纯的光学应用开始，光电技术的高效结合让我们探究宇宙的步伐更进了一步。本文中，让我们从光学天文望远镜的原理开始，初窥现代光学望远镜的制造，动手做一款简单的光学望远镜，了解一下与无线电紧密相关的射电望远镜。

光学天文望远镜从伽利略开始，历经400年的发展，已经变成了一个庞大的学科。但有趣的是，即使是如今最先进的光学望远镜，其原理和伽利略时代、牛顿时代所使用的望远镜的原理也是一样的。让我们首先来了解一下这两大类光学望远镜的基本原理。



光学望远镜是如何工作的

光学望远镜分为两大类：一类是折射式的，或称伽利略式，一类是反射式的，或称牛顿式。

折射式望远镜

伽利略当时制作的望远镜非常简单，只用了两块透镜。用一块凸透镜作为物镜，一块凹透镜作为目镜，放大倍数在10倍左右。这两块透镜是怎么实现放大的呢？这可以从图1中看出究竟来。

用望远镜观看遥远的星体时，我们看到的都是近似平行光。因为即使是最近的星体（比如月球）上的某一点发出的光，也是经过了几十万千米才到达地球。考虑到这一点，图1中选取了两束有代表性的平行光，假设他们是来自月球上下边缘的两点。这两束光经过凸透镜以后，汇聚到凸透镜的焦平面上，成为两点（见图1中虚线）。但是在它们汇聚成两点以前，我们用一块凹透镜把它们重新散开成平行光，就像直接用眼看到的那样，唯一的不同是，这两束光之间的夹角变大了。这样，透过望远镜，我们看到的月亮上下边缘的两点之间的夹角就比不用望远镜时要大，从而月亮就被放大了。放大倍数怎么计算呢？望远镜的放大倍数定义为对夹角的放大。它的计算可以借助图2的光路图。

图2中画出了与计算放大倍数有关的几条重要光路。凹透镜右边的那条竖线代表凹透镜的焦平面。伽利略望远镜的特点是凹透镜的焦平面与凸透镜的焦平面是重合的，凹透镜位于凸透镜的焦平面以内。图2中，蓝色的光束平行于望远镜的对称轴（或称主光轴），它经过凸透镜以后，汇聚到凹透镜的右侧主光轴上的焦点上，这样的光线经过凹透镜扩散成了平行于主光轴的平行光。而另一束与主光轴成α夹角的光束，经过凸透镜以后，汇聚到凹透镜的右侧焦平面上的另外一点。这样的光线经过凹透镜扩散，变成了与主光轴成β角的平行光束（注意，通过薄透镜中心的光线是不会改变方向的，这是薄透镜的重要性质之一，也是计算放大倍数的关键）。很容易得知，$\tan\beta/\tan\alpha=(h/f2)/(h/f1)=f1/f2$。而在一般望远镜的使用中，$\alpha$和$\beta$都是很小的角度，所以$\tan\alpha$约等于$\alpha$，$\tan\beta$约等于$\beta$，望远镜的放大倍数可以很容易得到为$\beta/\alpha=f1/f2$。这是一个很容易记住也很重要的结论，即望远镜的放大倍数等于物镜和目镜的焦距之比。

与伽利略同时代的天文学家开普勒也独立地制作了自己的望远镜，与伽利略不同的是，他的目镜使用的是凸透镜而非凹透镜（见图3）。由图3可见，开普勒望远镜的特点是两个凸透镜的焦平面也是重合的，但是目镜位于物镜的焦平面之外。从图中很容易计算出它的放大倍数β/α也等于$f1/f2$。同样放大倍数，同样物镜焦距（$f1$）的开普勒望远镜要比伽利略望远镜长两倍目镜焦距（$f2$）的长度。

仔细观察图2和图3，我们会发现，伽利略望远镜中，α角是红色光路相对蓝色光路顺时针旋转，β角也是如此。这样，通过望远镜看到的景物就不会上下颠倒。然而，开普勒望远镜中β角是红色光路相对蓝色光路逆时针旋转，所以，开普勒望远镜看到的景物是上下颠倒的（左右也是相反的）。开普勒先生在发明了这架望远镜以后，立刻意识到了这个问题。他觉得，这样一个颠倒世界的望远镜用处不大，于是就把它遗忘了。但是有趣的是，后来很多折射式天文望远镜都采用了开普勒的设计。因为星星们的位置颠倒一下没有什么大的问题，关键是开普勒式望远镜的视野比伽利略式要大，而且更明亮，这一点从图2和图3中也可以看出来。图2中，作为目镜的凹透镜使得各束平行光相对地都散开了，所以视野里的光强度就变弱了，而且要想看全物镜折射过来的景物，还需上、下、左、右移动眼睛。而图3中，作为目镜的凸透镜把各束平行光都相对汇聚了，视野明亮，而且因为从物镜里折射过来的景物的光都汇聚在一起，只

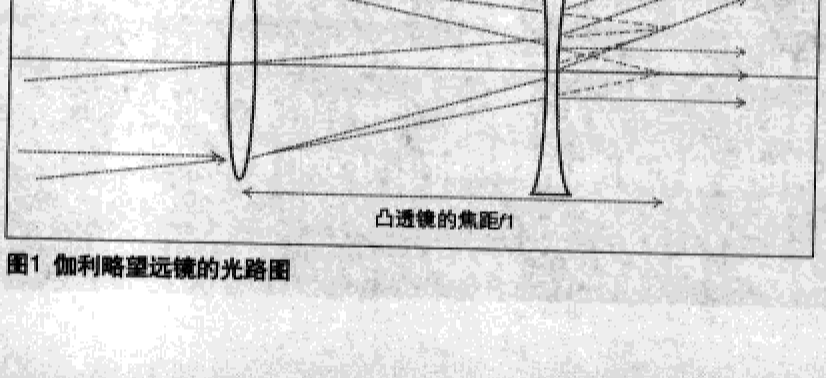


图1 伽利略望远镜的光路图

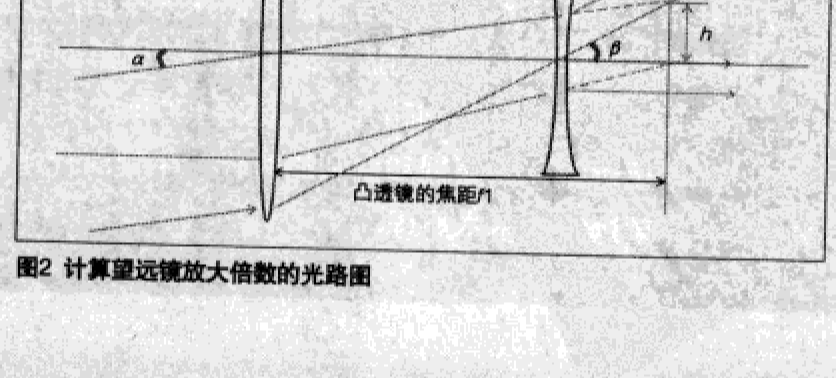


图2 计算望远镜放大倍数的光路图

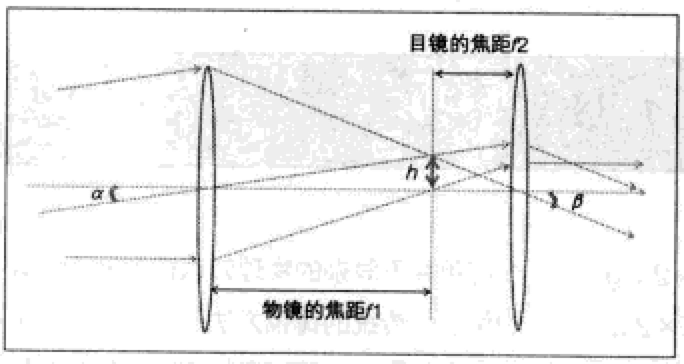


图3 开普勒望远镜原理

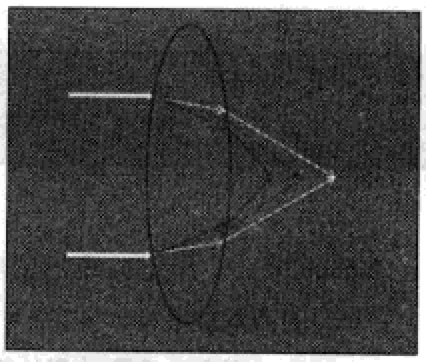


图4 厚透镜的色散（效果夸大了）。注意，不同颜色的光汇聚到不同的位置

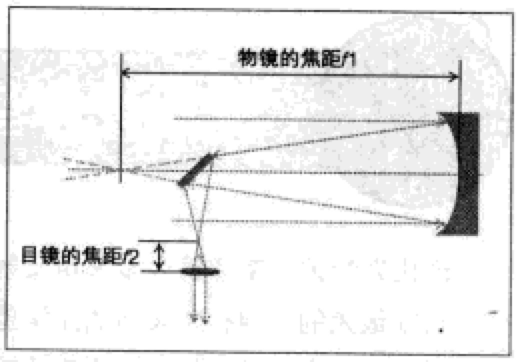


图5 牛顿反射式望远镜示意图

要把眼睛放在这些光线交汇的地方，就可以看到所有景物。

早期的折射式望远镜尺寸和放大倍数都很小，长度在1m左右，放大倍数在10倍到30倍之间。为了观看更加黯淡的星体和看清更多星体的细节，人们需要制造更大的望远镜，但是很快人们就意识到了折射式望远镜的前途渺茫。随着望远镜的增大，透镜需要相应地增大、变厚（主要是物镜，目镜大小基本不变）。我们知道，牛顿先生曾经用一块三棱镜把白光散开成彩虹，这就是玻璃的色散。而一块凸透镜或者凹透镜都可以近似地看成是两块对称的棱镜拼起来的，随着尺寸的增大，它们的色散越来越明显，图4描绘的正是这种现象。一束白光经过透镜后，紫色的光偏折角度最大，红色的光偏折角度最小（这是一个有趣且普遍的现象，即波长越短，折射越强。读者可以留意一下彩虹，它的颜色顺序也是与波长越短折射越强有关的）。如果有一束平行的白光入射到透镜上，它就不会被汇聚到一个焦点上，而是不同颜色的光汇聚在不同的焦点。所以透镜的焦距就不是一个固定值了，而变成了与光的波长相关的一个量。这导致的后果是，一个发出白光的点状星体在望远镜中变成模糊不清、五彩斑斓的一个小圆斑，严重影响望远镜的性能。

人们曾想方设法减小透镜的色散。通过组合透镜等方式，可以有效地减少色散带来的问题，但同时也大大增加了制作的难度。这个问题被伟大的物理学家牛顿先生巧妙地解决了，并且奠定了现代光学望远镜的基础。这就是反射式望远镜。

反射式望远镜

为了解决大而厚的物镜带来的严重色散问题，牛顿先生使用反射镜作为物镜，其原理如图5所示。

一个抛物面的反射镜就像一块凸透镜一样，可以把平行光汇聚到一个焦点上。在这些汇聚的光线到达焦点之前，用一块小平面镜把它们反射到望远镜一侧的目镜上，以供观察。类比图3我们知道，这架反射式望远镜的放大倍数就是$f1/f2$。由于厚重的物镜被一块反射镜代替，光线无需透过厚厚的玻璃，所以色散就被完全消除了（目镜由于尺寸小，再加上组合透镜，也可以消除色散问题）。有读者可能会觉得那块小反射镜有点碍事，它不会挡住一些光呢？确实，它会挡住了一些入射光，但是由于色散问题消除，物镜可以做得非常大，反射镜带来的小小损失就微不足道了。

继承牛顿式望远镜的思想，人们脱离了大望远镜需要厚透镜的束缚，开始建造越来越强大的反射式望远镜。但是随着望远镜越来越高（有些高达10m），人们要专门建造一座活动的塔楼才能爬到目镜附近进行观测，不是非常方便。后来人们对牛顿式的望远镜加以改造，演化出各种形式的反射式望远镜，其中最具代表性的是卡塞格林式（见图6）。它的物镜底部开有一个小洞，小反射镜将物镜反射过来的光线“折叠”回去，透过小洞进入目镜（图中没有画出）。这样的设计，使得观察者在使用巨大的望远镜时，只需要在望远镜底部，也就是地面上进行观测，而无需爬到几米高处使用侧面的目镜。注意，图5中的小反射镜是一块普通的平面镜，而图6中的小反射镜是一块凸出的反射镜（表面是双曲面）。这是因为我们要让光线汇聚到物镜的背后，如果使用平面镜，光线将汇聚在物镜的前面（图6中的红色圆点处），所以我们需要凸出的镜面。这样也带来了一个好处，那就是望远镜的等效物镜焦距变长了，因为从图6可以看出，平行的入射光经过了更远的距离才汇聚。根据我们开始推导的望远镜放大倍数公式，更长的物镜焦距对于同样的目镜而言，意味着更大的放大倍数。

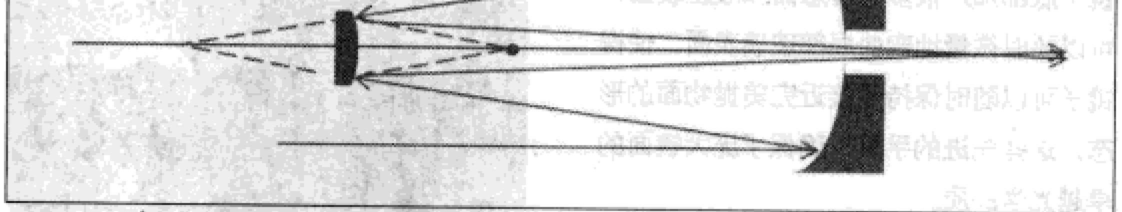


图6 卡塞格林式望远镜示意图

现代光学望远镜制造

现代光学天文望远镜大多采用反射式。目前最大的一架在建设中的光学望远镜是多国研究人员参与的大麦哲伦望远镜（Giant Magellan Telescope），预计于2020年左右完工。该望远镜建成后将如图7所示（注意望远镜前站立者与望远镜的相对尺寸）。它的主反射镜是由7面小的反射镜构成，每块小反射镜直径8.4m，所以建成后它们等效于一个直径24m的大反射镜。遥远的星光通过这些镜子的反射，被导向支架上的小反射镜，然后汇聚到中间那面反射镜的圆洞后面，在那里有其他的光学器件可以对汇聚过来的星光进行拍摄和光谱分析。这个过程正如图6所描述的那样。古老的反射式望远镜仍然是现代科学研究的有力工具。

虽然现代大望远镜的构造依然延续着先贤们的思想，要制造这么巨大的望远镜却要克服许多技术上的困难。大麦哲伦望远镜的主反射镜，每一块都由将近20吨重的优质低热胀系数玻璃铸造，而最后成型的镜面离完美的抛物面误差在25nm以内（$1m=1\times10^9nm$）。这绝非一件容易的事情。

我最近参观了负责铸造这些镜子的亚利桑那大学史都华天文台镜实验室（Steward Observatory Mirror Lab），了解了整个镜子制造的流程。图8所示就是一块已经铸造成型、正在打磨的大麦哲伦望远镜的一块反射镜。对比图8右下方的研究人员，我们就可以感受到这块玻璃的巨大了。它的表面已经过数次打磨，光滑可鉴。整个打磨的过程需要一年多。

20吨的一块玻璃看起来挺重，但是我们稍作计算就发现，对于这么大的镜子，它算是很轻了。以一块8.4m的镜子为例，它的平均厚度以0.5m计算（抛物面形的镜子边缘大概有1m厚，中间要薄很多），所用玻璃的密度为$2.3g/cm^3$，则所需玻璃为$\pi(4.2)2\times0.5\times2.3\approx63.69$(吨)。整整比实际使用的镜子重了40多吨！这是为什么呢？

这恰恰是史都华天文台镜实验室的创新技术带来的进步。在该实验室成立之前，最大的望远镜尺寸只能做到2m左右，因为更大的望远镜体重增长迅速，铸造和使用都极为不便。实验室的研究人员研发出了空心镜子和转炉铸造，使得望远镜的尺寸飞跃到如今的8.4m。下面我们来看看这两项技术是怎么回事。

在图9中，我们可以看到从一个大镜子上切下来的一部分。上表面就是反射镜表面（尚未打磨），我们注意到实际上它只有薄薄的一层，而镜面下就是空心的玻璃柱。这是因为在铸造玻璃的时候，研究人员首先排列好一些耐高温的六边形柱状物体，如图10所示。这些柱状物之间有精确计算好的缝隙。然后再把一块块的玻璃原材料均匀地撒在这些柱状物表面，高温加热以后，玻璃融化，覆盖整个柱状物表面，并且渗透到柱状物之间。冷却之后，研究人员再将柱状物取出，就形成了如图9所示的空心结构。空心结构的好处非常多，节省材料、减轻重量这是显而易见的。另外，如果是一大块实心玻璃，它的冷热很难均匀，这样将会造成随着温度变化镜面不同部分产生畸变，影响光学质量。但是空心的玻璃很容易就和周围空气的温度达到一致，从而不会有温差畸变现象。另外，由于镜子很薄，研究人员会在镜子底部加入很多个传感器和液压装置，可以随时微量地弯曲局部玻璃表面，使得镜子可以随时保持最接近完美抛物面的形态。这些先进的手段，确保了庞大镜面的卓越光学品质。

而开始提到的转炉铸造法，是另外一个应用并不复杂的物理知识得到非凡成效的例子。传统的铸镜方法是在一块圆饼上挖出抛物面来，费时费料。而我们从牛顿定律得知，当旋转一个装有水的桶时，水

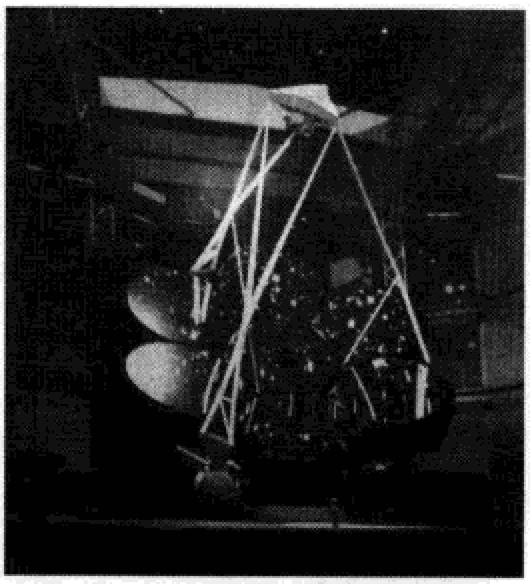


图7 艺术家绘制的大麦哲伦望远镜完成后的样子

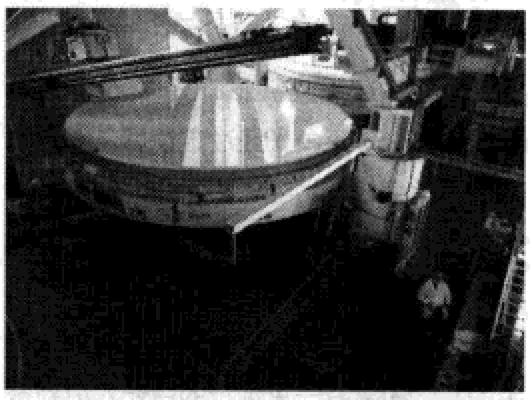


图8 正在打磨的大麦哲伦望远镜的反射镜之一

图9 空心大镜子的一部分

图10 研究人员把柱状支柱放入熔炉中

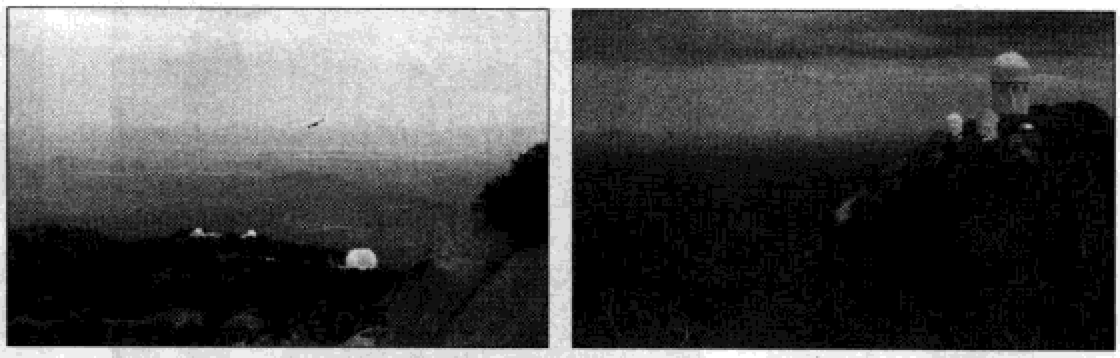


图11 基特峰望远镜群体（像照片中这样的阴天并不多见）

面会形成抛物面形。史都华天文台镜实验室利用旋转水桶的原理，在加热融化玻璃的过程中，旋转巨大的熔炉，使得玻璃表面自然形成抛物面。这样后期的打磨就只需要去掉非常薄薄的一层玻璃，以达到光学精度，大大地减少了材料的浪费和制作的时间。

大麦哲伦望远镜反射镜铸造完成后，将安装在智利阿塔卡玛（Atacama）沙漠中的某座山峰上。现代光学望远镜都安装在远离人烟的高山顶上，这样就可以避免城市的光污染。而且这些高山一般都处于干燥的地区，空气湿度小，而且非常宁静。如果空气扰动得厉害，就会像透过火苗上方的空气看远处景物一样，飘忽不定，影响观测。图11所展示的光学望远镜群就是在美国西南茫茫戈壁中的基特峰（Kitt Peak）上，这里一年之中只有夏天的两个月下雨，其余时间大都干燥晴朗。天文研究人员每晚就在这远离人烟的地方，抬头瞻仰我们壮丽的宇宙。

自己动手做光学望远镜

了解了这么多的原理和技术，只有亲手一试才能更深刻地体会望远镜的奥妙。这一节里，我们将亲手制作简单的折射式和反射式望远镜。

简单的折射式望远镜

首先来制作折射式望远镜。按照前文提到的原理，我们可以制作一架放大10倍左右的开普勒望远镜。我选用了直径61mm、焦距345mm的凸透镜作为物镜，直径57mm、焦距31mm的凸透镜作为目镜（见图12）。

镜筒可以采用装挂历的纸筒加上PVC水管等容易得到的材料。由于制作过程比较简单，读者可以自己设计喜欢的组装方法（网上各种天文论坛有详细的“水管望远镜”的制作过程）。其中的难点在于如何把透镜固定在镜筒中，以及如何使得物镜和目镜之间的距离可以调节（我们需要调节这个距离来使远近不同的星体清晰成像）。我使用的透镜固定方法很简单，就是在挂历筒的盖中心挖出一个比透镜直径略小的圆孔，然后用一个环状的纸板卡住，用胶带粘牢即可（如图13左图所示）。而透镜距离调节装置，则如图13右图所示。在一个比透镜筒稍大的圆筒上安装两组螺丝钉。目镜（也可以是物镜）那一组螺丝钉拧紧些，使目镜筒不能移动。而物镜那一组螺丝钉稍微放松，则物镜筒可以相对目镜移动，从而达到调节透镜间距的效果。为了使成像清晰，要尽量使物镜和目镜的主光轴在同一条线上，这就要求所有螺丝钉露出圆筒的部分长度大致相同。

图14所示是我做好的望远镜。注意，我把它安装在了一个照相机的三角架上。望远镜的支撑是一个非常重要的部分，它的重要程度甚至不亚于望远镜本身。如果想认真观察某颗行星，或者即使是月球表

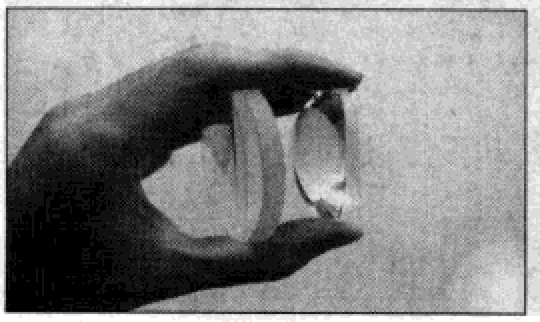


图12 物镜（左）和目镜（右）

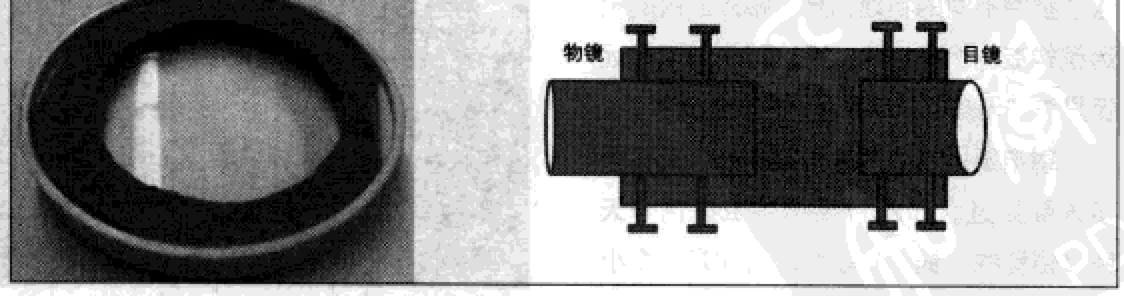


图13（左）固定透镜到纸筒盖上，（右）调节透镜距离的装置

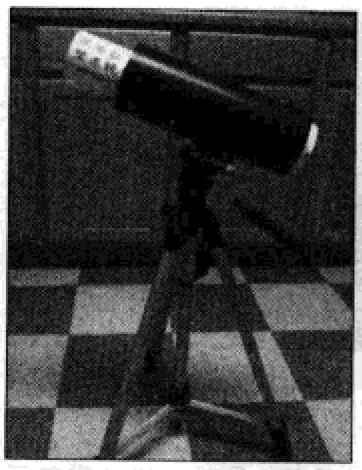


图14 我制作好的开普勒望远镜

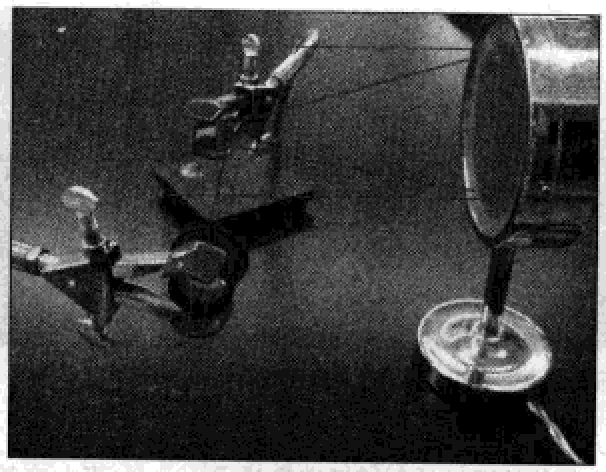


图15 简易版的反射式望远镜

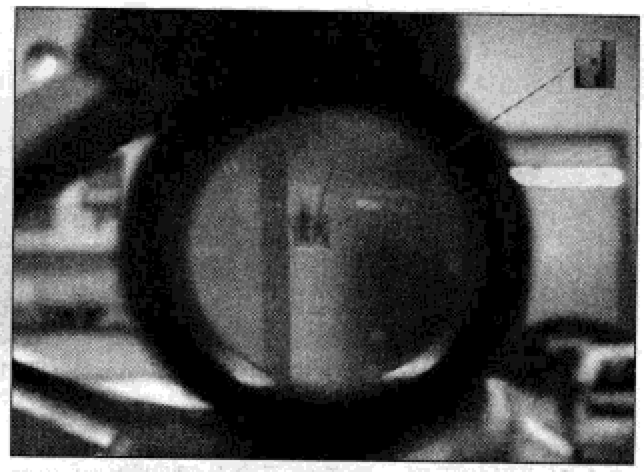


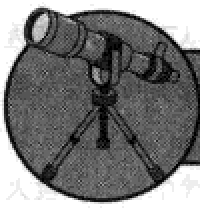
图16 简易而有效的折射式望远镜

面的环形山，都必须要有稳定的支撑才能做到，仅靠手持是不可能完成的。用这架简易的开普勒望远镜，我也能像伽利略当年那样，看到木星周围漂浮的3颗小卫星。由于我采用的目镜直径较大而焦距很短，所以它比较厚，因而色散较强。读者可以尝试其他不同的物镜、目镜的配搭，并从中学习到许多重要的光学概念。

简单的反射式望远镜

我们还可以用非常简单的材料来做一个反射式望远镜。一般天文论坛上的DIY爱好者们会自己手工研磨抛物面的反射镜（当然尺寸都在十多厘米左右，而不会是几米的庞然大物），但是手工磨镜是一件非常考验毅力的事情。为了体会到反射式望远镜的魅力而又不需要花费太多精力，我们可以偷个懒，使用市面上出售的放大化妆镜。这些镜子大多是焦距30cm左右的凹面镜，虽然从天文望远镜的角度衡量，品质很差，但我们只需要找一个小小的凸透镜和平面镜，就可以组装成一个简易的反射式望远镜了（如图15所示）。

根据图5所描述的反射式望远镜的原理，通过调整小凸透镜和平面镜的位置，我们可以清晰地看到放大了的景象，如图16所示。小凸透镜的焦距大约在5cm，所以我们得到了一个放大6倍左右的望远镜。图16中，远处墙壁上的插座和电线透过望远镜看得非常清楚（图中右上角红色框中为未经望远镜看到的景象）。而且我们可以注意到，与开普勒望远镜类似，它也把景物上、下、左、右颠倒了。如果用镜筒把这些光学器件固定好，装上三脚架，这就成了一个小小的反射式望远镜了。



射电天文望远镜

前面我们一直提到“光学”天文望远镜，是因为如今天文望远镜所涵盖的内容远远超过了使用透镜或反射镜来观察肉眼可见光波段的星空。除了光学天文望远镜，往长波方向，我们有红外望远镜、射电望远镜（观察无线电波），往短波方向，我们有X光望远镜，等等。不同波段包含了星空不同的物理信息，相应波段的望远镜构造也很不相同。而这其中射电望远镜是与“无线电”联系最为密切的一类。

射电望远镜听起来很高科技，其实很多人都见过。如图17所示的卫星信号天线（俗称的“锅”）就可以看作是一个小口径的射电望远镜。它们接受的是比红外

图17 常见的卫星信号天线

线波长更长的无线电波。不难发现，射电望远镜的构造与反射式望远镜是非常相似的。一个金属的抛物面将入射的平面无线电波汇聚到一个焦点上，那里有探测器从接受到的电波里选择出想要探测的频率进行放大，然后用传输线将信号送去做后续处理。这样我们就测量到了天空中一个点的某个频率的无线电信号强度，它通常包含了某种物理现象的信息。如果要拍摄天空中一个小区域的无线电照片，天文学家就会转动射电望远镜，一个点一个点地记录电波强弱，然后绘制成图，就像我们在电视、电影里看到的雷达扫描一样。常见的卫星信号天线与射电望远镜不同的是，前者的方向总是固定指向地球同步轨道上的某一颗卫星，而后者则可以转动扫描天空。

既然是一个点一个点地扫描，那两个相邻点之间转动角度应该是多大呢？可不可以每次转动非常小的角度，从而得到一张解析度非常高的照片呢？现实情况并不是这样的。

射电望远镜是个严重的近视患者，如果两个点隔得太近，即使它们发射的无线电波强度不一样，在射电望远镜看来也是模糊的一团，不分彼此。这个现象是由于它所观测的电波波长造成的。如果忽略电波的波动性，一个抛物面的反射镜能把平面电波汇聚到一个无穷小的点上，这样射电望远镜就可以拍摄非常高分辨率的照片。而实际上，任何波都有衍射现象，这使得我们无法把一束电波汇聚到一个点上。当电波通过一个比自己的波长大很多的障碍物时，衍射现象并不明显，但是当电波波长和障碍物的尺寸相当时，衍射现象就非常明显了，图18展示了这一现象。

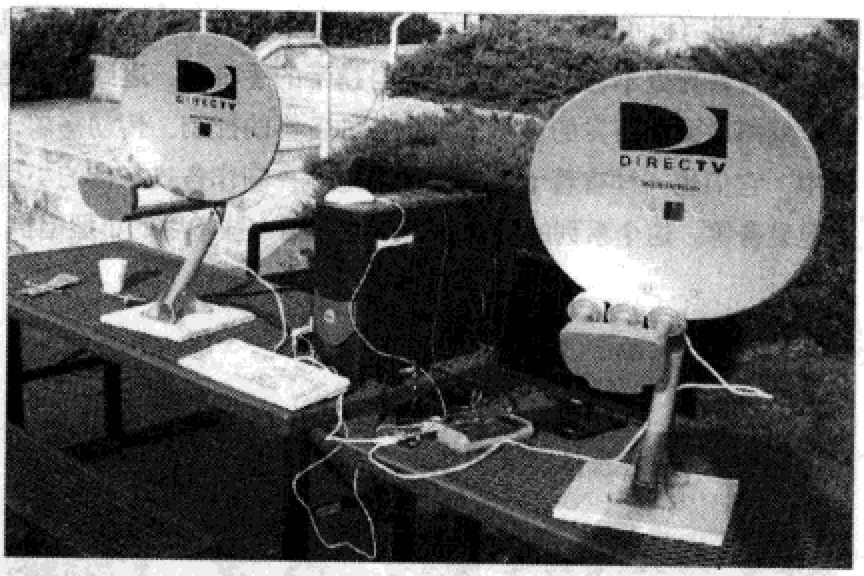


图20 美国Haystack天文台为大中学生设计的一种超小型射电望远镜

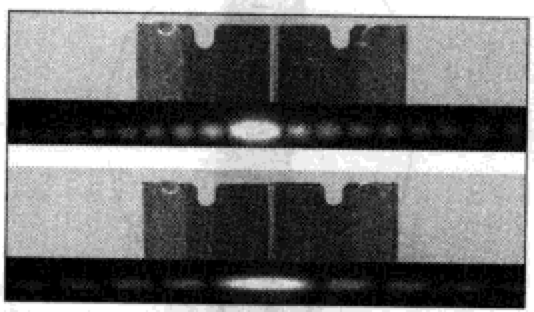


图18 障碍物越小，衍射越厉害

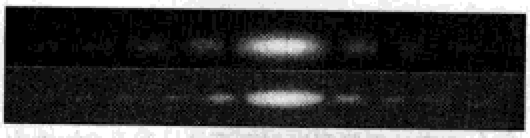


图19 波长越长，衍射越厉害

红色激光通过两块刀片的细缝时会发生衍射，使得原本一个很小的激光光斑变成了一个很大的光斑（中央光斑）。而且细缝越窄，这个光斑越大。射电望远镜的反射镜面对于入射的电波来说也是一个障碍物，所以汇聚后的电波也是一个有面积的斑，而不是一个无穷小的点。反射镜面越小（相当于细缝越窄），则汇聚后的斑点尺寸越大。另外一个决定光斑大小的因素是波长。波长越长则光斑越大。如图19所示，通过同样宽度的细缝，红色激光（波长约为635nm）的光斑就比绿色激光（波长约为532nm）的要大。总而言之，反射镜的尺寸和所观测电波的波长这两个因素决定了射电望远镜的分辨率。因为它所观测的无线电波波长可以从数厘米到数米，所以人们需要建造非常大的反射镜才能够尽量减少衍射所带来的分辨率低的问题。即使如此，庞大的射电望远镜还是近视得厉害，如直径100m射电望远镜Green Bank Telescope在观察21cm波段的无线电波时，即使用来看月亮，也是模糊不清的，月亮上每一点发出的电波经过望远镜汇聚成像后，都成了很大一块光斑。

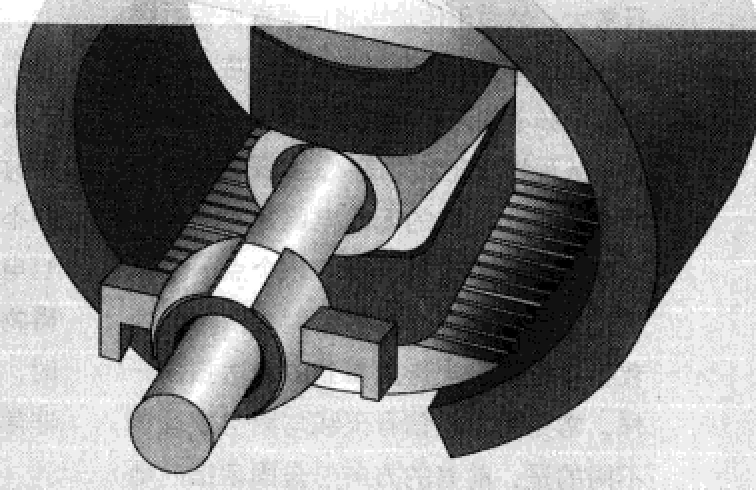
怎么办呢？建造更大的射电望远镜吗？不。聪明的物理学家们想出了更好的法子。那就是用很多个小型的射电望远镜组成一个阵列，来观察同一个目标，然后把这些小望远镜的信号叠加在一起形成干涉。比如我们可以在相隔1000m的地方放置两架小射电望远镜，让它们观测同一个目标，并将观测得到的电波信号用传输线送到一起，叠加起来，最终得到的结果几乎等效于一个反射镜直径为1000m的射电望远镜的分辨率。通过这样的方式，射电望远镜的分辨率大大提高，我们就能够用无线电波看到更加清晰的宇宙图景了。

我们能否像DIY光学望远镜那样，DIY一个射电望远镜呢？看起来这是个不可能完成的任务，但实际上并非如此。世界上有许多业余的射电望远镜爱好者，利用废旧的电视卫星接收天线（小锅天线），组装自己的射电望远镜。感兴趣的读者可以参考下面这个网页（http://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/VSRT/index.html）。这是美国Haystack射电天文台为大中学生设计的一种超小型射电望远镜（Very Small Radio Telescope，见图20），利用两个电视小锅天线组装成一个小型射电望远镜干涉系统，可以进行太阳直径的测量等有趣的业余射电天文研究。读者如果亲手尝试必定获益匪浅。

从光学天文望远镜，到红外望远镜、射电望远镜（观察无线电波）、X 光望远镜，它们为我们展示了不同波段所包含的星空的不同信息，描绘了一个更加绚丽多彩的宇宙。

电动机（以下简称电机）在现代社会中是个再普通不过的机电类产品，电机技术的成熟运用，使得这种能把电能转换为机械能的设备无处不在，近到我们随身携带的手机里，远到探索星际的飞船上，都有它们的存在。它们有着多种多样的分类和用途，能制成大小各异的体积，满足各种各样的控制、传动需求，在机电一体化设备中有着不可取代的地位。即便是在电子爱好者中，它们也一样有着十足的用武之地——制作各式各样的小型机器人、遥控玩具车船、散热设备、电动工具，甚至是简易的发电装备等。这个系列的文章将简单地介绍一些常用的小型电机，方便大家了解和使用这些让我们着迷的小精灵。

◇温正伟　插画：刘少冉



常用小型电机系列之

直流电机入门解读

直流电机的基本原理

直流电机，英文Direct Current Machine，简称DC machine。在百科的词条中是这样定义的：将直流电能转换成机械能(直流电动机)或将机械能转换成直流电能(直流发电机)的旋转电机。在一些地方俗语中会称之为马达、摩打等，多为英文的音译。

从英国科学家迈克尔·法拉第（Michael Faraday）发明世界第一台电机（1821年）到现在已经有191年的历史，直流电机的制造及应用技术已经相当成熟了。

回头看看法拉第的第一台电机是怎么样的呢？他的实验是在一个碟子中倒入水银，碟中放有永久磁铁，在碟子上面悬挂一根导线，导线一端连接电池的正极，另一端则浸泡在水银中，水银则和电池负极相连，水银有导电性和流动性，在这里就充当了电刷的角色。电流通过导线，产生磁场，和放置在碟子中的磁铁产生相互作用力，使得导线翘起围着磁铁旋转。图1所示的就是原始的法拉第实验示意图。虽然这个实验中的装置并没有实用的价值，但从原理上符合了直流电机的定义，我们也可以用这个实验原理仿制一些小的电动机实验玩具。

图2所示就是一个利用这个原理制作的最简单的电机实验，制作用料很简单——电池、铜丝和圆柱形钕铁硼磁铁块。制作方法是先把铜丝做成直径比电池直径略大一点的铜丝圈，把圆柱形钕铁硼磁铁块吸在电池的负极，铜丝圈接口处的铜线放在正极上，相当于电机上的转轴，铜丝圈的另一端接触到电池负极下的磁铁块。钕铁硼磁铁块具有导电性，就相当于直流有刷电机中的电刷，放置好后，电流流过铜圈，产生磁场，并和钕铁硼磁铁块的磁场相互作用，线圈就转动了（注：图2中钕铁硼下面的普通磁铁块只起固定作用，可以不使用）。有兴趣的读者可以做来哄小朋友，简单而又有教学作用。

然而法拉第并没有把这个实验实用化，直到1832年，电磁铁的发明者——英国的威廉·斯特格恩（William Sturgeon）才制作出第一台具有实用性的四芯电机，而且最重要的是，这个电机已使用了电刷来换相，是现代电机的原形。它的原理如图3所示。

到了1834年，美国人托马斯·达文波特（Thomas Davenport）制造出了第一

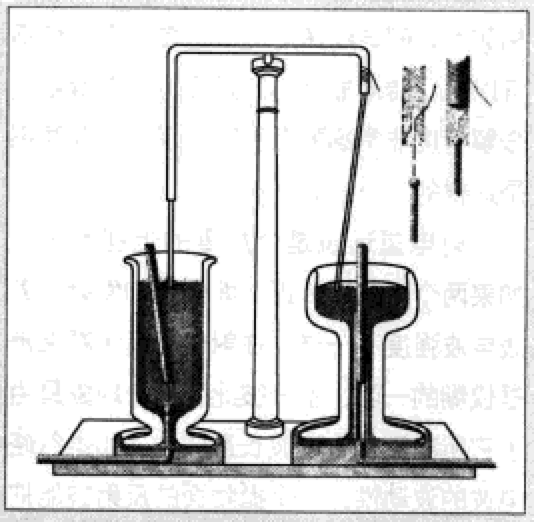


图1 原始的法拉第实验示意图

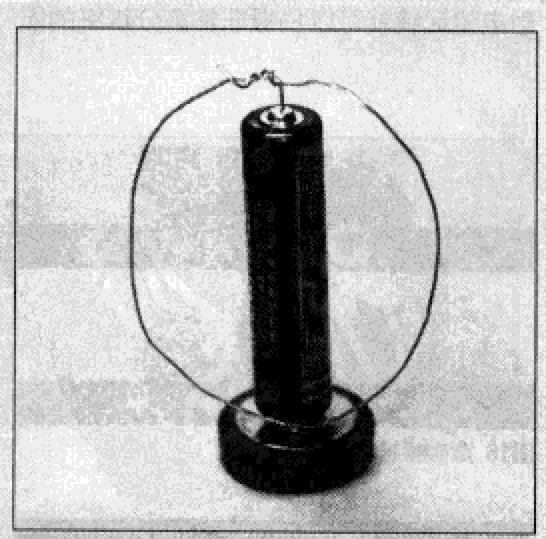


图2 简单的电机实验

演示的视频可以到下面地址观看：http://www.cdle.net/thread-47258-1-1.html。

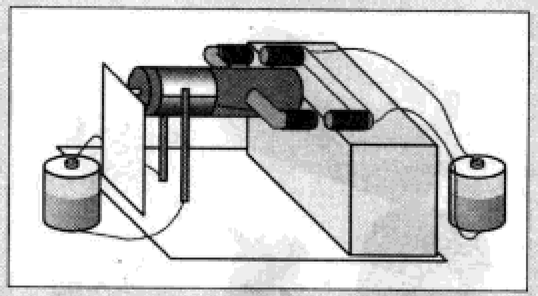


图3 威廉·斯特格恩四芯电机原理图

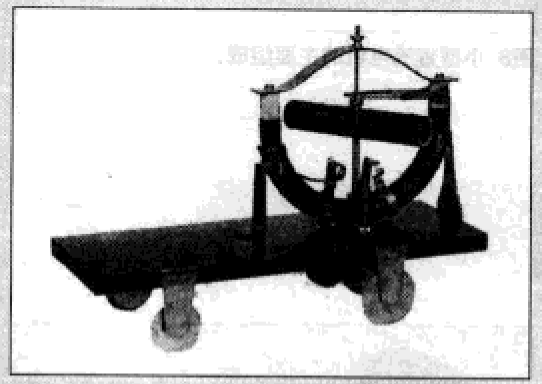


图4 世界上第一辆直流电机驱动的电动车模型

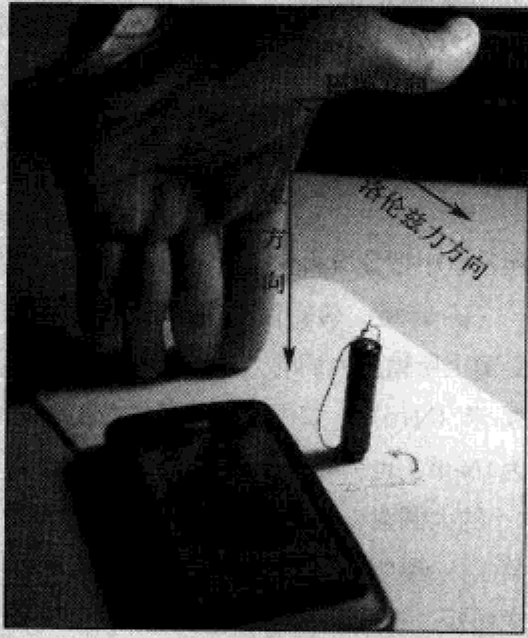


图5 左手定则示范洛伦兹力方向

辆直流电机驱动的电动车模型，如图4所示。虽然这辆直流电机驱动的电动车与现代的直流电机在性能及造型上相比有着天壤之别，但是其基本原理以及结构的组成要素都是一样的，只是实现的形式不同罢了。如今，在网络供电时代，电机的能源供给问题得到了解决，电机得以飞速发展，同时借助越来越先进的驱动控制技术，不单单是可以实现更大的动力输出，而且能实现更高速和准确的控制。

从以上这个小实验中，我们可以直观地看到电流流过处在磁场中的导体时，会受到一种力的作用。电机正因为受到这种力的作用才会转动，由于是荷兰物理学家洛伦兹最先提出了这个观点，所以这种力被称为洛伦兹力。

洛伦兹力是指运动电荷在磁场中所受到的力，即磁场对运动电荷的作用力，力作用的方向与电流方向和磁场方向都保持垂直。

洛伦兹力的作用方向可以用左手定则来确定，那么具体如何使用左手定则来判定洛伦兹力的方向呢？还是用上面那个电机小实验来说明，如图5所示。首先我们要找出磁力线的方向，可以借助指南针（或手机上的电子指南针），指南针的南极（S极）会指向磁场的北极（N极），这样就可以得知磁力线的方向，从N极指向S极，电流方向是从电源正极指向负极。得知这两个方向后，伸出左手，拇指与其余四指呈90°，四指指向电流方向，拇指指向磁场方向，那么掌心所对的方向就是洛伦兹力的作用方向，所以这时铜圈就会做逆时针旋转。也可以参看图6来理解通电导体在磁场中受洛伦兹力作用的情况，你也可以试着伸出左手，在图6上试试左手定则。

细心的读者可以看出，上文中提到的那个铜圈在电路中最多只算是两段通电的导体，两者电流方向是一致的，但由于所处位置不同，受到的磁场作用也有所不同，受力后导体位置不断改变，所处磁场位置也在变化，受力不平衡，所以会旋转起来。然而我们使用的电机在原理上并不可能用这样的结构，实际上，常见的直流电机用于产生磁场的导体是做成环状的线圈，电源连接在线圈的两端，其原理结构如图7所示。我们同样可以使用左手定则来分析环形线圈在磁场中的受力情况。

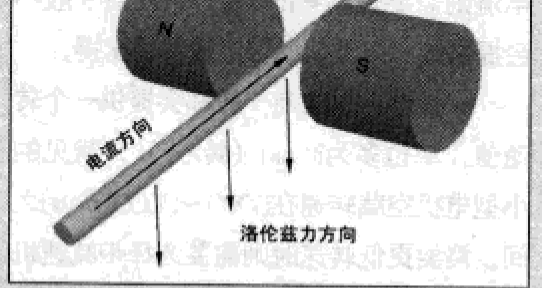


图6 洛伦兹力示意图

从图7中可以看到，环形线圈中，电流的走向可以分为A、B两段，这两段电流的方向正好相反，使用左手定则分开来分析得出，A段受到向上的力，而B段受到向下的力，当线圈平面没有处于铅垂位置时，两股力会形成力矩，使得线圈沿顺时针方向转动，当到达铅垂位置时，A段向上的力与B段向下的力在同一垂直线上，不产生力矩，这时达到平衡，停止转动。为了继续旋转，必须改变一下电源的极性，极性改变后，A段受向下的力，B段受向上的力，受力状态在极性改变的瞬间被打破，绕圈继续沿顺时针方向转动，直到再次到达铅垂位置，再次平衡。由此可知，只要在铅垂位置上进行电源极性转换，线圈就会一直转动下去，这种方式也已被广泛用于大多数的直流电机中，这种交替改变线圈中电流方向的过程称为换向。常见的永磁直流电机中实现转向功能的装置是换向器和电刷。

我们可以通过拆解小型直流电机来了解一下常用小型直流电机的主要组成部分，如图8所示。直流电机主要由以下几个部分所组成：

▶ **转子**：转子是在电机中心轴上固定着的单匝或多匝线圈，线圈通过电刷连接到换向器，获取交替变化的电流，使其在磁场洛伦兹力的作用下，产生旋转的转矩，并通过中心轴输出。图8中间所示的就是转子，电机轴上面固定了3匝线

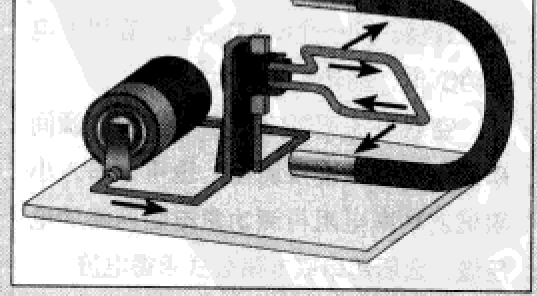


图7 直流电机线圈通电分析示意图

圈，组成一组绕组，线圈引线连接在电刷上。实际使用的直流电机中线圈至少为3匝或以上，多线圈组成绕组目的在于增强洛伦兹力强度，并减少绕组转动过程中力矩波动导致的转动不均匀，同时也提高了能量的转换效率。

▶ **定子**：定子是围绕安置在转子周围，用于在电机中产生磁场的装置。一般小型直流电机的定子多是使用永磁体制作，在大功率的直流电机中，定子是使用线圈制作的电磁铁。图8左边所示的就是定子，由一块环形圆柱形永磁铁组成。

▶ **换向器**：换向器的结构是两块分开的金属弹片，用于接触电刷来给线圈提供交替变化的电流。换向器是固定的，电机轴在旋转时，电刷会随着旋转的角度变化，交替地与换向器两极接触，变换线圈的电源极性。

图8 小型直流电机的主要组成

直流电机选购要点

在制作机电结合的DIY作品时，我们通常要用到小型的直流电机，我们如何选购所需要的电机呢？如今，我们不但可以在电子市场上买到所需元器件，更可以足不出户在网络上购买到心仪的元器件，但无论从哪一种渠道购买电机，我们都应该在第一时间向供应商索要或询问电机的技术参数，最好是厂商提供的技术文档，当然也可以在网络上根据电机型号来查找相关的资料。从这些文档中我们可以详尽地得知该型号电机的技术资料，如外形、安装尺寸、力矩、电压、轴长等。有了这些资料，我们可以在制作项目中更精准地进行设计。然而实际上，用户在购买时往往不会索要这些文档，特别是小厂商生产的产品或是二手货物，更没法保证能获取全部的技术资料，好在有些电机会在电机的铭牌上有标示电压、功率、转速等参数。笔者根据平时的选购经验觉得，爱好者在选购时应关注以下几个基本指标，来看电机是否满足自己的要求。

TIPS

当我们手上有一个直流电机时，我们只知道它的额定输入电压，那么我们可以用如下的方法求得堵转电流和空载电流。

当电机在运转时无法带动负载转动，转子停止转动，形成堵转，这里所通过的电流也称之为堵转电流。因转子不转，此时绕组线圈就可以简单地看成是一个电阻，所以其电流值可以简单地用欧姆定律求得：电流=电压/电阻。

小型直流电机的绕组电阻通常都很小，所以要用精度高的万用表测其电阻值来计算。如一个6Ω的电机，在供电电压为6V时，堵转电流就为1A。

空载电流可以直接在电机和电源间串入电流表来直接测得，也可以串入小阻值的功率电阻再测功率电阻两端的电压值，之后用串联电路公式求得电流。

▶ **输入电压、电流**：无论到哪里购买电机，商家首先都会问“需要多少伏电压的电机？”常见的小型直流电机的额定输入电压有3V、6V、12V、24V和36V。选用时可以根据控制电路所能提供的电压值去选取合适的电机，尽量不要选用需要电路额外提供电源的电压值。当然同时也要考虑电机的输出，同样功率的电机，输入电压不一样时，需求的电流是不同的。6V的电机要输出和12V电机一样的功率时，电流则需要是后者的2倍。供应商一般不会提供输入电流值，但比较容易求得。

▶ **转速**：供应商一般都会提供一个转速值，单位多为r/min（转/分），常见的小型电机空载转速在5000～20000r/min之间。需要更低转速时则需要选择带减速机构的电机或使用调速电路进行调速。图9所示是小型金属齿轮减速电机。

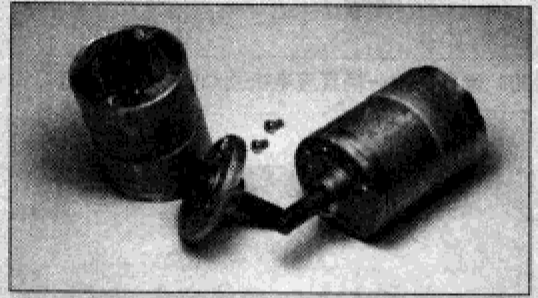


图9 小型金属齿轮减速电机

▶ **转矩**：转矩就是距轴心一定半径距离上所输出的切向力。转矩的单位为牛顿·米（N·m）。如果一个电机的输出转矩为1N·m，也就相当于在轴心上安装一个1m的大圆盘，而电机带着圆盘的边缘挂着0.1kg重物顺利旋转。如果需要精确要求转矩，在购买时一定参考详细的电机技术文档。通常是通过对电机增加减速机构来实现增大力矩，但同时会把终端输出的转速降低。

▶ **尺寸**：小型直流电机种类繁多，大小不一，所以在购买时务必要注意其体积大小、定位孔、轴直径、轴长等关键尺寸，以确保电机能正确安装到设备中去。

除了询问以上基本技术参数外，如有条件，在购买时可以试着加电或手动使电机转动，听听电机有没有异响，感觉一下转子是不是转动顺畅。特别是在跳蚤市场上选择二手电机时，如果转动不顺畅或有异响，那可能是电刷、换向

器、轴承或减速机构有问题。

直流电机经验点滴

◆ 使用电机时输入的电压值不应超过额定值，电机运转时输入电压越高，绕组线圈所流过的电流也越大，发热量也越大，长期工作在电压超标的状态，电机的寿命会大大缩短。◆ 电机轴上承受的载荷越大，电流也会越大，同时对于电机轴或减速机构的磨损也越严重，所以要使电机寿命延长，电机轴上的载荷越小越好，或是选用更大功率的电机来满足载荷要求。如果有条件的话，可以安装滚珠轴承，减少摩擦所增加的额外载荷。◆ 要求大转矩的情况时，可以选择使用行星齿轮减速电机，基本条件一样的情况下，蜗轮、蜗杆以及直齿转减速电机输出的转矩相对会小一些。◆ 定期在轴承、减速机构上加注润滑油，保持机件的小摩擦量，一来可以延长电机寿命，二来也可以减轻运转时的噪声。◆ 在固定电机时使用橡胶垫片，可以减少噪声及减少对电机及减速机构带来的冲击和振动，这在制作机器人或机器小车时很有用。

直流电机驱动应用实例

直流电机的驱动方法可以很简单，只需要在电极上接直流电源，电机就可以转动了，反相接入电源时，电机就反转。简单的调速方法就是升降输入电压，但是这些简单的方法只能适用于调节好后就不变的情况，要想方便地调速或换向就需要控制电路进行调节控制。

虽然可以简单地通过调节电机的电流来调速，但从原理上可知，这样会使电路功耗增大，发热也会严重。目前最普遍使用的一种方法是采用PWM（Pulse Width Modulation）技术，PWM中文全称脉冲宽度调制，简称脉宽调制，是可以用于电机调速的有效方法，其原理就相当于在电机中安装了一个开关。想象一下，在规定的时间里，接通电机的时间为30%与接通电机的时间为20%，前者所消耗的电能要大于后者，那么在全段时间内接通电机的话，电机的能耗就是100%，而不接通电机则不消耗电能。

比较常用的一种PWM信号是以固定频率产生脉冲，然后根据需要改变其占空比。高电平持续时间越长，其占空比越大。可以参看图10来理解，高电平持续看成是电机导通，占空比越大，导通时间就越长，能耗就越大，输出转速也就大。

另一种产生PWM的方法是把脉冲的占空比固定，改变其频率，但这种方法需要产生不同的频率，实现不方便，而且在多种频率间切换时可能会让电机产生共振或加大噪声，一般不使用这种方式生成PWM信号。

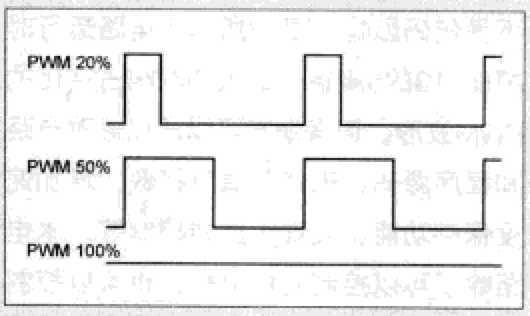


图10 不同的PWM信号

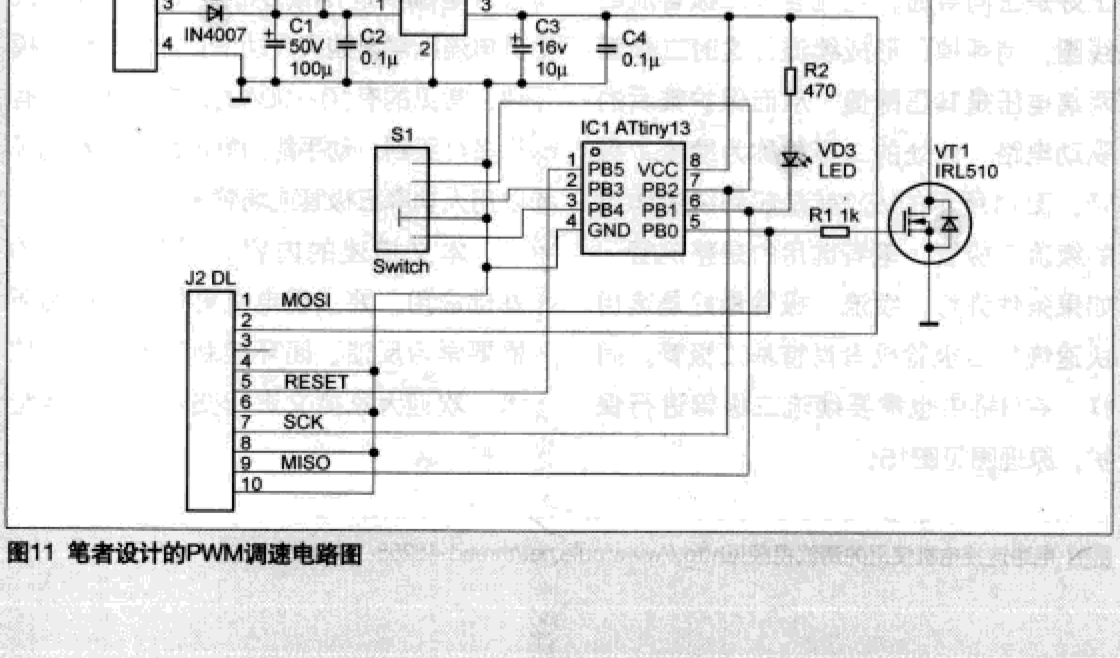


图11 笔者设计的PWM调速电路图

适用于小型直流电机的PWM调速电路

根据PWM的原理，笔者设计制作了一款适用于小型直流电机的PWM调速电路。这是一款简单而通用的调速电路，使用AVR的ATtiny13单片机生成PWM信号，所以电路极其简单、灵活，且具有宽电压输入，255挡连续可调等功能，图11所示为电路图。电源部分使用了78L05为单片机提供稳定的5V电压，其输入电压为直流7～30V，也就使得这个电路的最高支持电压为30V。J1接口的1、2脚为电机输出端口，3、4为电源输入端口。电机驱动使用了型号为IRL510的MOSFET管，该管G极电压只需要5V就可以驱动，所以直接用单片机的I/O脚就可以驱动，PWM信号控制着MOSFET管的导通，形成了一个高速自动的电源开关，实现PWM原理，其最大负载电流可以达5.6A，可以满足大部分小型直流电机的需求。若需要实现更大电流的电机调速，可以换用功率更大的MOSFET管。ATtiny13芯片使用内置的复

位及振荡电路，电路十分简洁，J2为芯片的编程接口。调节部分使用了带中央按键的编码开关，中央按键用于启停电路，左右旋转则可以使电机加减速，使用了编码器可以使得调节更加精准，也不会像使用普通电位器那样，时间久会有阻值变化，从而造成调节失常。图12所示是笔者用万用板焊接完成的本电路。

程序的编制也比较简单，PWM的生成使用芯片内部PWM硬件功能产生，生成PWM频率约为38kHz。使用硬件生成的好处是不占用系统时间，输出波形不受代码影响。图13所示为电路运行时ATtiny13的5脚输出的大约40%占空比的PWM波形。读者朋友可以通过修改电路和程序源码，来修改调节挡数、增加速度保存功能、实现正反转控制等。本电路除了可以控制有刷电机，也可以控制小散热风扇、LED等。

小型直流电机要实现正反转控制，

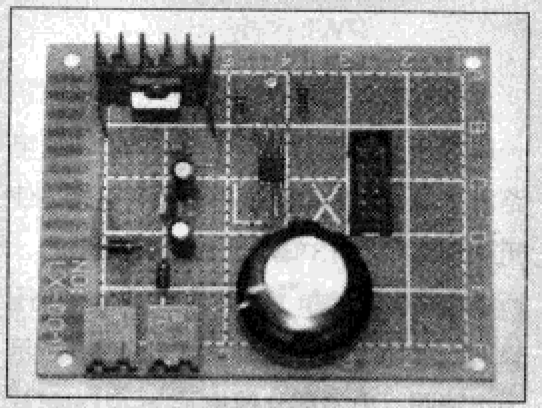


图12 焊接完成后的电路板

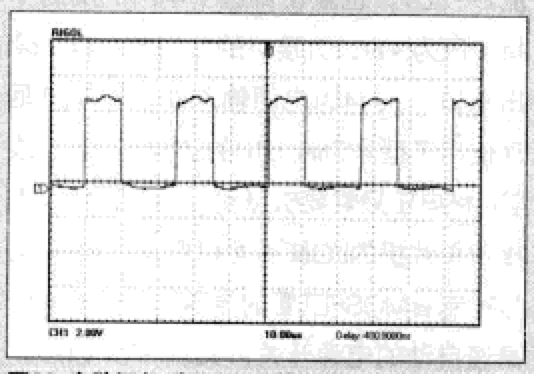


图13 电路运行时ATtiny13的5脚输出的PWM波形

■ 本文的程序源码及编译好的HEX文件，可以在杂志网站下载或到http://www.cdle.net/thread-45255-1-1.html下载更新的程序。

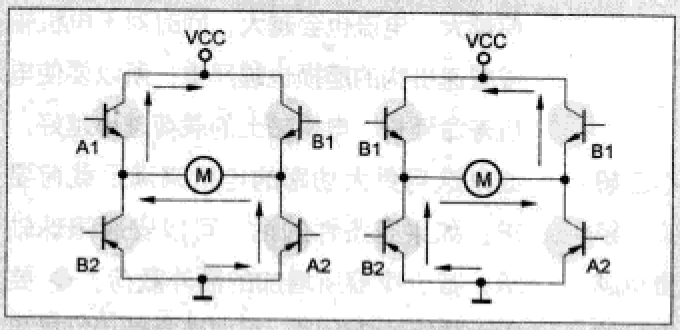


图14 H桥电路

通常是使用H桥电路，用单电源供电可以使电机双向运转。图14就是其原理图，图中的电路单元是由4个三极管构成的最基本H桥电路，4个管子联结成H字形，H桥也因此而得名。当需要顺时针正转时，使三极管A1及A2导通，而B1和B2关断，电子从电源负极流经A2、电机负极、电机正极、A1，最后到电源正极，这样在电机两极产生了正向的电压差，使得电机正转。同理，逆时针反转时，要使三极管B1及B2导通，A1和A2关断。

绕组线圈其实就是一个大电感，在电路中就是一个感性负载，具有阻碍电流变化的特性，当线圈中的电流变化得越快，其阻碍能力越大，在线圈断电的瞬间，电感阻碍电流变化，在其两端产生反向电动势，此时，电压幅值可能是原输入电压值的数倍。因产生的反向电压过高，容易造成连接电机的其他元件被反向击穿，如三极管。通常，为了保护电机驱动电路，会在电机两端并入一个反接的二极管，当有反向电压产生时，对于这二极管来说正好是正向导通，电流会经二极管流回线圈，消耗掉，形成续流，这时二极管两端电压是其压降值，从而保护其后的驱动电路，此处的二极管称为续流二极管。图11所示的VD2就是起到续流作用的续流二极管，笔者选用的是整流管，如果条件许可，续流二极管最好是选用快速恢复二极管或者肖特基二极管。同样，在H桥中也需要续流二极管进行保护，原理图见图15。

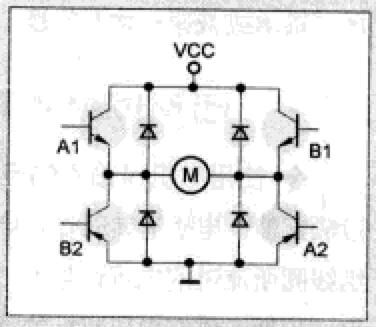


图15 H桥中加入续流二极管

使用续流二极管同时也会产生一些问题，二极管会分流一些电流到电源回路上，可能会造成电压的瞬变，产生干扰噪声。在使用PWM信号控制的驱动电路中可能会产生更为严重的后果，就是产生过冲电流。产生的原因是PWM信号关断三极管，这时产生了反向电压，续流二极管导通，如果二极管的关断时间较慢，那么在二极管还没关断时，三极管受PWM控制再次导通，这时因为三极管相当于直接导通电源和地线，产生过冲电流及噪声，其维持时间取决于续流二极管关断时间，所以要尽可能选用高速的快速恢复二极管或者肖特基二极管。同时，最好在电源电路上加入旁路电容来平滑电流电压脉动和吸收噪声，旁路电容一般选用0.1～0.22 μF的瓷片或钽电容。如图11中的C2所示。

小功率的H桥集成芯片有多种型号可供选择，比较常见的如L293B、L293D、L298、754410、UCN2998等，这些都很容易在网上或电子市场购买到。这些集成芯片电流多是1A或2A的，如果需要更大的电流则需要购买大功率直流电机驱动模块，常见的有10～30A的，在网店中也有许多可买到。动手能力好的朋友当然也可以用大功率三极管或场管来自制。

本文描述的内容只是直流电机的基础应用，要实现电机更精确的控制还需要学习反馈、闭环控制等更高级的技术，欢迎大家撰文进行交流，分享经验心得。

电路连接电机使用的测试视频见http://www.cdle.net/thread-45255-1-1.html。

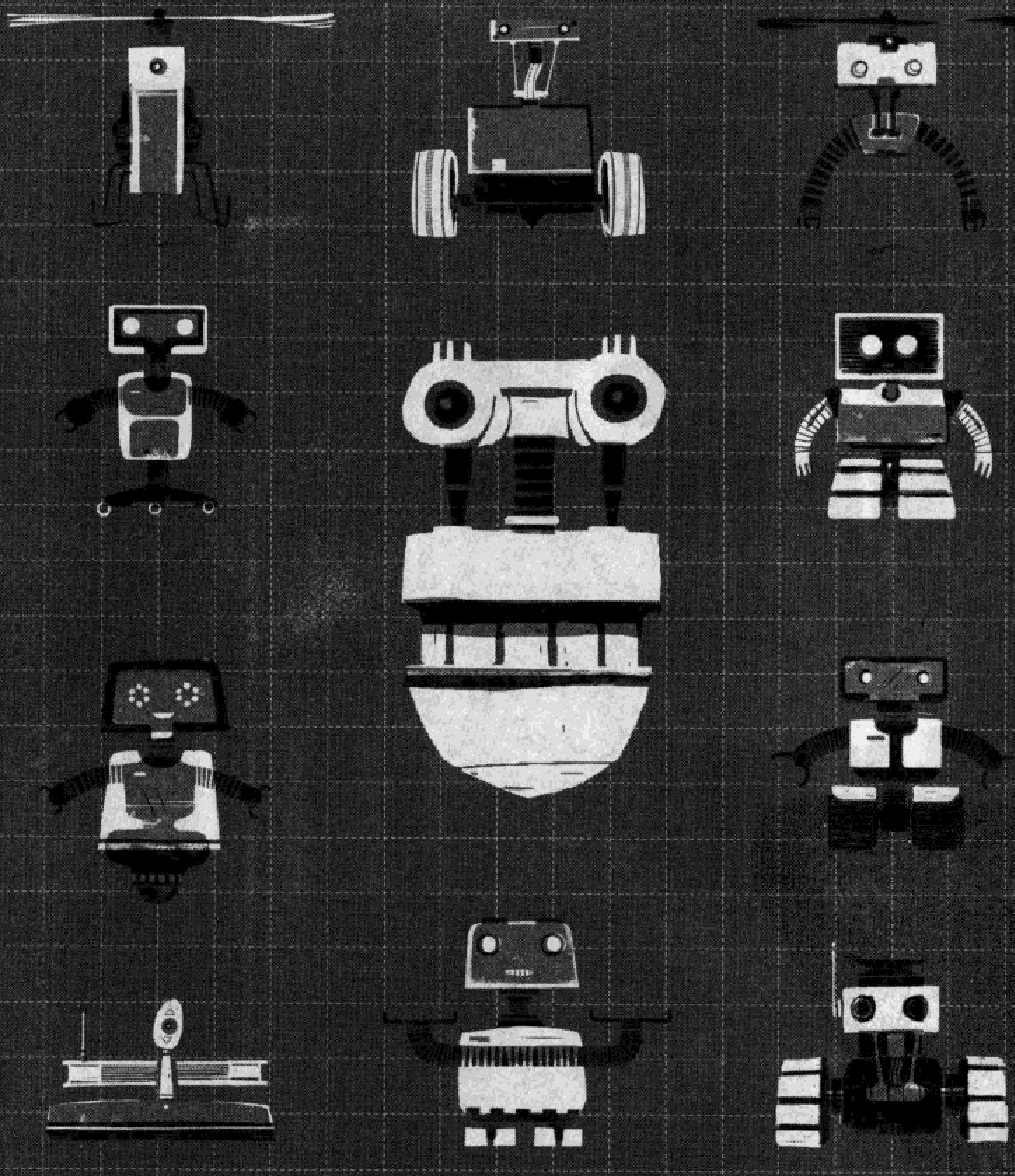
项目：

机器人！

热烈欢迎机器人军团！

» 登录makezine.com/27下载免费制作：机器人桌面壁纸

本专题摘自《爱上制作25》



摄影：布赖恩·麦克劳林

Spazzi

电磁舞蹈机器人

制作一个可爱的大头机器人，让它随着你的音乐跳舞，或者自己舞蹈。

在BeatBots网站上，我们相信跳舞是机器人最有价值的项目之一。我们喜欢制作可爱的游戏角色并让其以有趣的方式移动，你会发现，这并不需要昂贵的组件和复杂的编程。在本项目中，我们放弃机器人常用的旋转电机（伺服电机和步进电机），取而代之用电磁铁来产生快速、线性、撞击式的运动。

马雷克·米查罗斯基

摄影：加里·麦克劳德

我们设计了流行的遥控机器人Keepon用于研究以及给孩子们玩耍，此机器人由高端组件和自定义金属零件制作而成。2011年推出的玩具版本——My Keepon，一部分捐赠给了自闭症治疗医生作为研究机器人。

我们旨在将Spazzi设计成一个有弹力、容易制造的机器人，通过简单的机制达到与Keepon相同的可爱效果：用与计算机相连的Arduino控制螺线管和弹簧。

线圈内部有铁芯（或磁棒）的通电螺线管又称电磁铁，它可以允许电流通过。Spazzi的物理结构十分简单，它的下半部分由3个螺线管呈三角形平行立于两个塑料部件之间。这两个塑料部件一个是机器人的底盘，另一个是机器人的腰。磁棒穿过压缩弹簧向上延伸，高出腰部并支撑机器人的塑料头。

3个塑料身体部件都是基于勒洛三角形的，这种形状具有许多有趣的性质和用途（更多信息请上网查询）。我用3D打印机制作这些部件，但是你可以使用任何材料来制作你的机器人的身体和头部——包括纸板。机器人制作的核心是螺线管和弹簧的装配。

螺线管是二进制的：假设它们可以获得足够的电量，则它们要么完全压缩，要么完全伸展。晶体管连接到Arduino的一个数据引脚驱动螺线管，当该引脚被置为高时，电源输出12V的电平。前排的螺线管控制头部运动（低头或抬头），后排的两个螺线管控制身体向左或向右倾斜。

在3个螺线管的控制下，Spazzi可以做出8种不同的姿态。但是，当螺线管的激活状态和频率随时间改变时，这有限的姿态也可以产生惊人的丰富多样的运动。这些功能由计算机上的Max/MSP或纯数据（PD）软件实现。软件根据音乐或其他输入数据通过USB接口或串口向Arduino发送开/关信号。

这里列出了Spazzi跳舞机器人的零件和代码，之后，你可以按自己的意愿为它编舞。

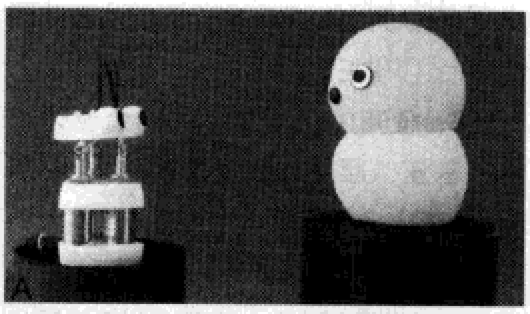
材料

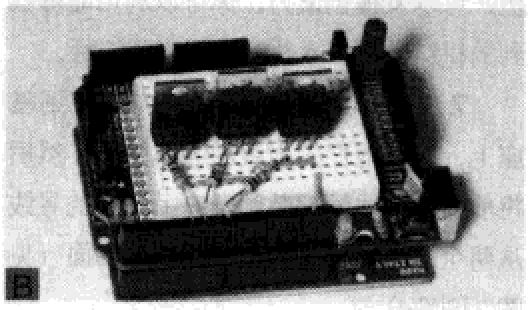
有关推荐供应商、价格和其他采购信息，请参阅makeprojects.com/v/27。

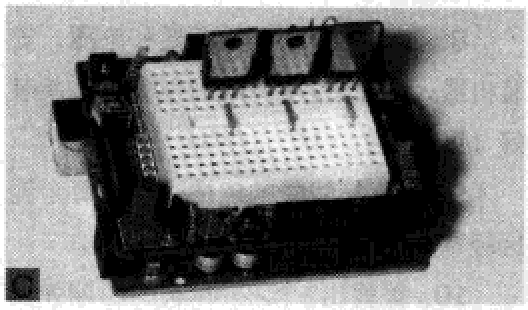
- ◆Arduino UNO
- ◆MakerShield
- ◆迷你电路板
- ◆跳线
- ◆晶体管，TIP102（3个）
- ◆电阻器，1kΩ（3个）
- ◆二极管，1N4004（3个）
- ◆螺线管，密封持续拉力式，12V，2cm（3个）
- ◆宽扎带，1.8mm（6个）。
- ◆302型压缩弹簧，外径0.8cm，导线直径0.05cm
- ◆乳胶橡胶线
- ◆电工胶带
- ◆电源，12V，2A
- ◆3D打印的ABS材料制作的身体部件（3个）和眼睛（2个，可选），这些塑料部件的3D模型以及代码文件可以从该项目的页面下载thingiverse.com/thing:8909。用3D打印机将它们打印出来或者送到3D打印店打印

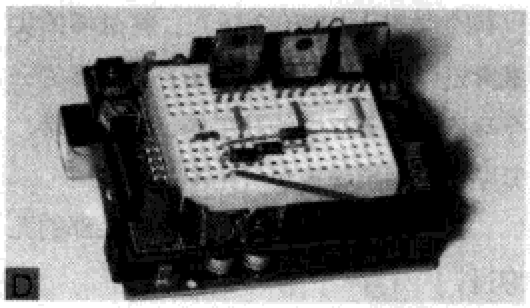
工具

- ◆烙铁和焊锡
- ◆美工刀
- ◆剥线钳
- ◆MakerBot Thing-O-Matic或其他3D打印机（可选）
- ◆3D部件也可以送到打印店打印（见上面）


A


B


C


D

开始

更多制作过程图片，请参阅makeprojects.com/v/27。

1. 按照makezine.com/go/makershield上的指导组装MakerShield。将迷你电路板插在中间，然后将MakerShield安装到Arduino Uno上。

2. 将3个晶体管并排插在电路板上，确认它们互不接触。观察晶体管的印字面，引脚从左至右分别为基极、集电极和发射极。

3. 用导线将3个发射极连接到Arduino或MakerShield的地端。将3个1kΩ电阻的一端分别连接到引脚D5、D6、D7，另一端连接到晶体管的基极（见图B）。

4. 在电路板的另一侧用跳线将晶体管的集电极引到各自的列上（见图C）。将二极管的阳极插入集电极列上，阴极（有标记的一端）插到电路板上新的一列上。用跳线将公共阴极连到Arduino的输入引脚V，同时连接到新一列上（见图D）。

5. 将各个螺线管的一端连到各个集

摄影：马雷克·米查罗斯基

电极/阳极列上，另一端连到新的公共阴极列上（见图E）。

6. 使用3D打印机打印3个躯体部件：基座、腰部和头（见图F）。利用Thing-O-Matic打印机，制作每个部件大约花费45min的时间。如果你找不到3D打印机，可以发挥创造力。你可以利用能够找到的材料，例如木头、锁，甚至纸板。

7. 将后排的两个螺线管先安装到基座上，以便他们的导线由通道引出。然后将前面的螺线管安装到基座上，它的导线从两个螺线管导线的上方引出到后面（见图G和图H）。

8. 卸下螺线管上的螺帽和垫圈，安装机器人腰部，然后将垫圈和螺帽重新装好（见图I）。

9. 卸下螺线管的磁棒，穿过每个孔轻轻系一个扎带。

10. 裁剪出3个22mm长的压缩弹簧（每个弹簧大约有6个环）。将磁棒的尖端穿进弹簧，然后旋转弹簧直至弹簧的一个环到达磁棒底端的扎带处，拧紧扎带，紧贴磁棒固定弹簧环（见图J）。

11. 将扎带的末端从机器人头部的孔穿过。

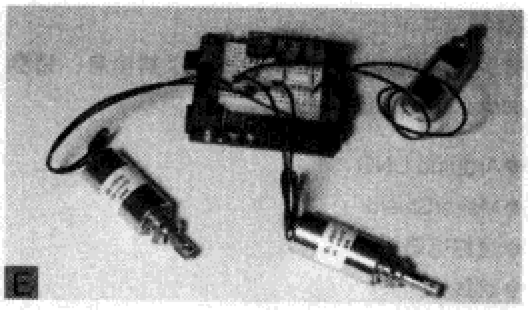
12. 在贴近机器人头顶处，将扎带打一个结（见图K），这样扎带就不会变松，但是也不要系得太紧。然后剪掉多余的部分。

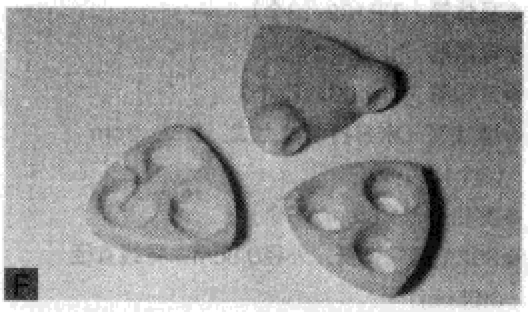
13. 将机器人头部组装到身体上，眼睛和电线在相反的方向（见图L）。

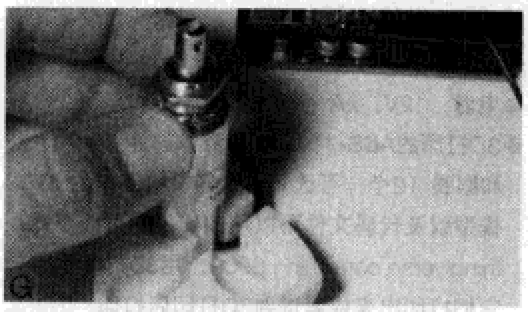
14. 剪6条40mm长的橡胶线。我选择这种材料是因为它看起来跟Spazzi“尾巴”上的线很像，你可以选择任何材料来制作这个装饰天线。

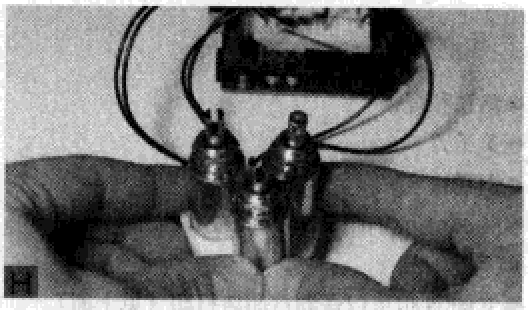
15. 在机器人头顶上的两个孔中各插入3条剪好的橡胶线（见图M）。如果太松，可以将丢弃的扎带剪下几毫米与橡胶线一起楔入。

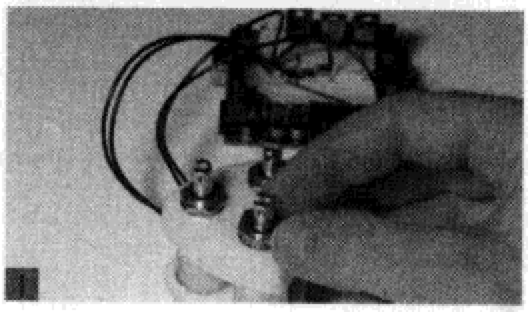
16. 用3D打印机打印出黑色ABS塑料材质的机器人瞳孔模型，并用热熔胶将它们黏贴到眼窝里。如果没有黑色ABS塑料，也可以用颜料、记号笔或从电工胶带

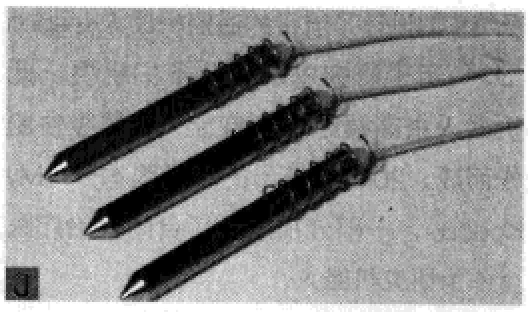

E


F

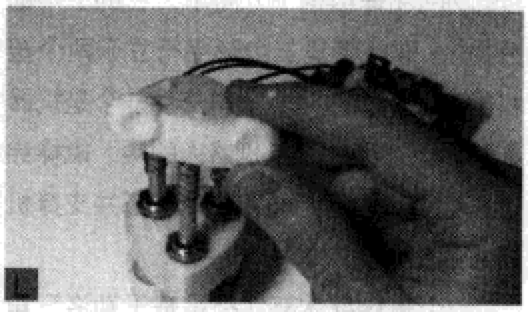

G

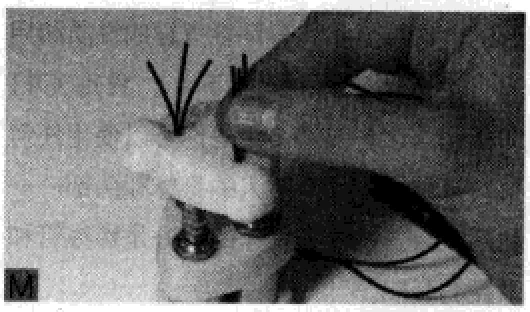

H

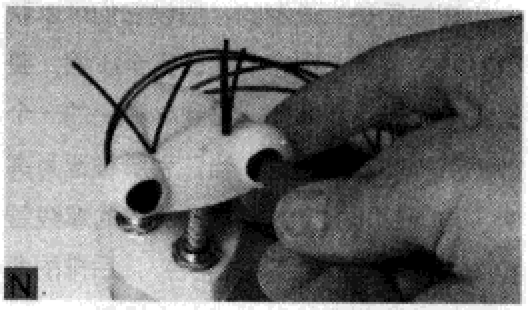

I


J

K


L


M


N

上剪下的圆给瞳孔上色（见图N）。

17. 将12V电源与Arduino连接，然后利用USB线将Arduino与计算机相连。

18. 如果你是一个有经验的编程人员，可以这样——将引脚D5、D6和D7置高或低，使螺线管处于激活或非激活状态。

除此以外，将提供的Spazzi.pde补丁下载到Arduino，然后在串口监测器中将波特率设置为38 400。输入字符a、s和d可以激活电磁铁，输入q、w和e可以使电磁铁进入非激活状态。你可以像上面描述的那样利用键盘控制Spazzi跳舞，现在你只需要实践一下，将这些字符输入串口。

应用

我们喜欢用Max/MSP来控制机器人。它是一种可视化编程语言，数据通过虚拟电缆在各个对象间流动，如开关、数学运算符、过滤器等。你可以从

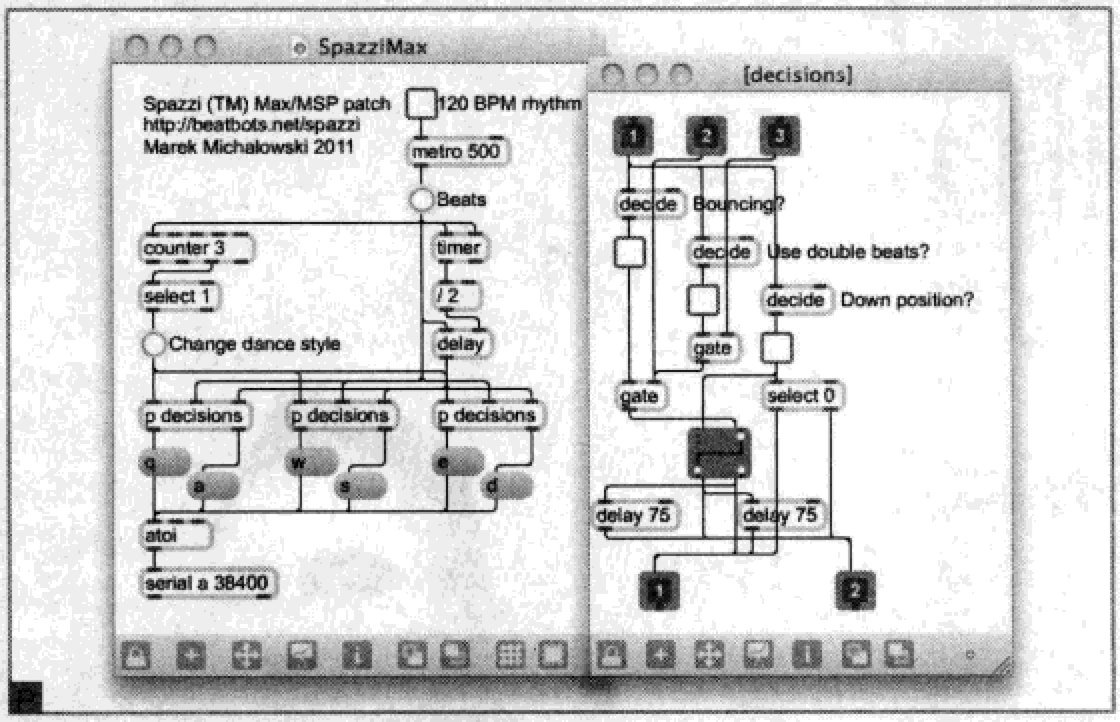
cycling74.com下载一个试用版本或者从puredata.info下载一个免费版本。

从makeprojects.com/v/27下载一个样本补丁（Max/MSP文件名称）Spazzi.maxpat，在Max/MSP中打开它（见图P）。底部的Serial串口对象会打开你的Arduino端口。点击120 BPM的节奏复选框（或者利用节拍按钮设置你想要的节奏），Spazzi便开始跳舞了。它的舞步每4个节拍随机改变一次，取决于每个螺线管的状态，可能上下摆头，可能跳跃，也可能一个节拍跳跃一两次。可以从上面给出的地址中下载视频观看。

为了使机器人伴随音乐跳舞，你可以利用Olivier Pasquet的op.beatitude~对象（opasquet.fr/dl/op.beatitude~.zip）或者Tristan Jehan的beat~对象（web.media.mit.edu/~tristan/maxmsp.html）修补音频流，并将检测到的节拍输入你的Spazzi补丁中。要将音乐从其他地方（如iTunes）导入Max/MSP（或其他应用设备），可以试试MacOS X（cycling74.com/products/soundflower）上的Soundflower或者Windows（jackaudio.org）上的Jack这类软件。不必局限于此，记住，Max/MSP和PD是一个非常棒的环境，你也可以运行自己的信号处理应用程序。

一项更高的挑战是直接在Arduino上做音频处理。虽然你将受到处理能力的限制，但是将机器人从计算机的绳索束缚中解放出来直接控制岂不更好？

下一步：自定义！将Spazzi变成你自己的。变换颜色、天线以及其他附件，甚至可以将它放到运动的基座上。最重要的是别忘了录像——也许你的跳舞机器人视频会风靡一时！Ⓦ



Spazzi以及它的外观是BeatBots的商标，但是任何人都可以制作这个机器人用于个人或非营利性目的。

马雷克·米查罗斯基博士（marek.michalowski.me）是一个机器人专家，居住、工作在美国旧金山。他与机器人Keepon的设计者Hideki Kozima博士一起创立了BeatBots（beatbots.net）。

他对Spazzi机器人用舞蹈取悦人的能力毫不怀疑。

摄影：加里·麦克劳德（人像）

情感机器人乐队

因为“机器人”这个词听上去感觉冰冷无情，制作一个喜怒无常的机器人的想法在我脑中闪现。由苏格兰团体FOUND制作的机器人Cybraphon也许看起来像一个19世纪的自动点唱机，但它的胆量却绝对是21世纪的。

隐藏的计算机运行着定制程序，而电磁阀、伺服系统和红外探测器则扮演着异国情调乐器和古董机械的角色。最重要的是，“表演会接受网上社区的意见”，所以它“就像一个真的乐队”。希望这样的评论能让Cybraphon带来悦耳的音乐。

——阿尔温·奥莱理·格里菲斯

▲

教学：旧玩具

DJ.舒尔斯

DJ.舒尔斯将玩具变成多功能机器人

看动画，机器人确实很有趣，但与机器人互动却是亲身的体验！你可以令互动机器人具有与普通玩具不同的独特个性，我设计的EZ-B机器人控制器（ez-robot.com）可以使这个过程变得非常简单。本教程将介绍EZ-B的工作原理，然后解释怎样用它来教一个旧把戏狗——狗拉车玩具一些新花样，比如自动追逐红球和服从语音命令。

摄影：什林·路

EZ-B是一个微控制器电路板，与众多输入、输出设备相连。把它放入玩具中，它将控制伺服电机、传感器、扬声器、LED以及其他使机器人运动的设备。

此外，EZ-B还使用蓝牙协议与附近的计算机无线连接。与其他的微控制器不同，EZ-B的所有编程和“繁重”计算工作都在PC端完成，微控制器只是作为一个从接口，与机器人的电机、传感器及其他外围设备相连。这使你的机器人具备语音识别、语音合成、视觉检测等功能，远远超出标准微控制器的能力，这还意味着你永远不用编译或上传新固件。

外设插件

EZ-B电路板与普通Arduino微控制器具有相同的引脚排列。不同的是，EZ-B没有将微控制器芯片的I/O引脚连接到单个母头上，而是将它们分成了3针的阵列，每行有自己的电源和地。

因此，你无需焊接即可直接插入带有标准3线母插头（红色=电源，黑色=地，白色或黄色=屏蔽）的伺服电机。

许多与Arduino兼容的传感器和外设也使用这种类型的连接器。传感器（输入设备）包括距离传感器、倾斜传感器、指南针、温度计、按键垫和操纵杆。

流行的带3线插头的感应元件（输出设备）包括伺服电机、控制电机用的H桥适配器以及高压继电器（见图A）。

EZ-B因为内置有母端对母端的接头适配器，所以能够与任何Arduino扩展设备兼容。此外，它还有一个可以与I^2C设备相连的接头，使用4条线：电源、地、时钟和信号。这个协议在机器人领域越来越流行，可使你将多个低速外设串联到一起，从伺服电机到可编程LED模块（例如BlinkMRG BLED），还允许你在软件中利用每个外设的特有地址与其通信。

EZ-B还具有内置协议，支持MIDI、iRobot的Roomba控制和TellyMate的serial-to-TV控制。

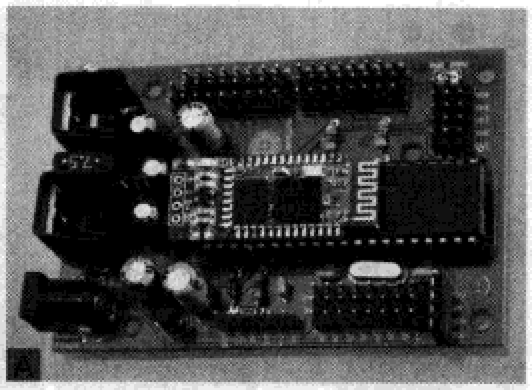
对于机器人轮子或履带的驱动，通常可以使用玩具原有的电机和齿轮。否则，你需要有减速电机（或者带齿轮装置的直流电机），或者连续旋转的伺服电机。有刷直流电机旋转速度太快，齿轮在降低电机转速的同时增加扭矩。连续旋转伺服电机是使用3线伺服电机插头的前向/后向变速电机。

对于关节运动及其他动作的控制（例如，控制头/摄像头位置），需要使用伺服电机。多数情况下，你需要将玩具原来的舵机（如果存在）更换成业余制作使用的模块。舵机由软件指定，能够做出90°~120°范围内的精确动作。小的舵机很脆弱，所以使用的时候要小心。用手旋转轴可以取出齿轮，使舵机失去作用。

距离传感器是最受喜爱的机器人输入设备，通常可以在5~75cm远的距离检测宽度大于2.5cm的固态物体。超声波传感器，例如Satistronics公司的HC-SR04，对带角度或纹理的对象检测效果较差，而红外线传感器，如夏普GP2D12，在阳光下的检测效果较差，所以大多数机器人制作者会把两者结合使用。

在主设备计算机端，EZ-B软件除了通过蓝牙与控制器通信外，还从计算机的USB端口读取数据。2.4GHz无线USB设备不与蓝牙发生干扰，你可以利用它将更多的功能集成到机器人身上。例如，你可以在机器人上安装一个无线摄像头，将它的无线收发器插到主机上，用EZ-B程序处理视频直播信号。使用2.4GHz无线USB集线器，你可以同时支持摄像头和声卡（优化机器人的音效），以及其他任何USB外设。

EZ-B有一个SDK（软件开发包，ez-robot.com/sdk），支持更大型EZ机器人内控制器的开发。越来越多用于外设和传感器的EZ-B软件模块被开发出来，让你可以控制这些设备，而不必担心底层电气的具体连接情况。



A

材料

有关推荐供应商、价格及其他采购信息，请参阅makeprojects.com/v/27

- ◆玩具（有运动部件的）
- ◆EZ-B .NET蓝牙机器人控制器，可从ez-robot.com购买，119美元
- ◆计算机，运行Windows 7或Vista系统，带有蓝牙收发器
- ◆电池，AA（5个）
- ◆2.4GHz无线摄像头，我花了19美元在eBay上买了一个带嵌入式电池的摄像头，用USB充电
- ◆GWS改良舵机（2个）
- ◆伺服臂（2个），星型安装附件
- ◆伺服延长线（2个），可选，用于连接LED和扬声器
- ◆小螺丝、LED

工具

- ◆带切割轮的电动打磨机、小螺丝刀、Sharpie笔、遮盖胶带或标签工具、烙铁和焊锡（可选，用于LED和扬声器）

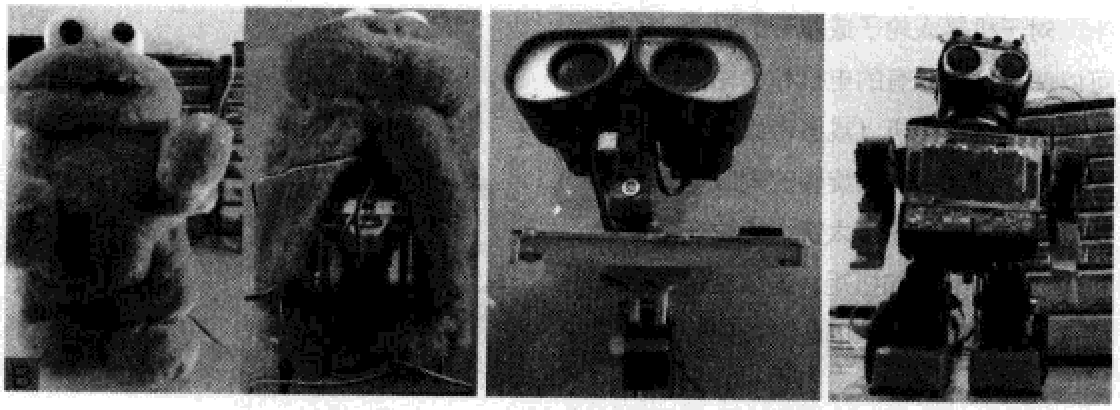
开始

1. 环境配置

面对任何机器人项目，你都会想要集中精力制作。所以，在开始制作机器人之前，先创造一个安静舒适的工作环境，让灵感流动起来。

因为缺少材料而不得不中途停止是很令人沮丧的事，所以，先确定你准备了足够的热熔胶及各种螺丝、螺母、螺栓。把从修改过的玩具上拆下的螺丝与可重复使用的光源、电机、齿轮组、弹簧以及开关等放在一起。

摄影：DJ.舒尔斯



如果你要切割硬塑料，需要做好处理刨花的准备，在室外或者是没有地毯且容易清理的房间内进行切割。如果你要在桌子上工作，先用纸板覆盖。这样可以防止热熔胶枪造成的划痕或污迹，而且方便画草图或作标记。

2. 找玩具

逛逛旧货店或者翻翻你的玩具箱，找一个有运动部件并且有良好机器人控制潜力的玩具。它可以是机器人、车辆、动物，甚至是娃娃（见图B）。不过，请注意，把娃娃做成机器人可能会惹恼你的一些朋友哦。

当我正在为本文寻找灵感的时候，一只挖掘狗出现在我面前，它是Playskool生产的一种7美元的移动玩具。这里介绍了如何让挖掘狗去追逐一个红球并且听从语音命令，你不需要焊接任何东西或编写任何代码。这个玩具甚至没有电机，所以这也是能够说明如何增加自主移动性的一个很好的例子。

仔细观察你要改造的玩具。研究它的四肢、头部以及任何其他活动部件，决定你要控制的部分。活动的胳膊、头部以及其他需要精确定位的部件需要用到舵机。作为一个初学者，先从简单的开始，只增加基本动作。随着制作机器人的经验增长，你可以添加越来越多的功能。练习制作机器人吧！

业余制作机器人最常见的移动机制就是轮子或履带。制作会行走的机器人太复杂了，很难在本教程中解释清楚，除非你开始使用的玩具已经能够通过四轮驱动拖着脚步行走，如果是后面的情况则很容易。想使毛绒玩具行走，你可以将它的“皮肤”包裹到已经改装好的步行机器人身上。

如果你已经有了电机和其他组件，拿着这些东西与玩具比较，弄清楚哪里需要改装以及如何安装这些东西。带着业余制作用的伺服电机，可以在业余制作用品店里找到适合的安装支架和电机轴，然后参考图片选择玩具。这最大限度地减少了购买无用硬件的可能。

3. 添加伺服电机

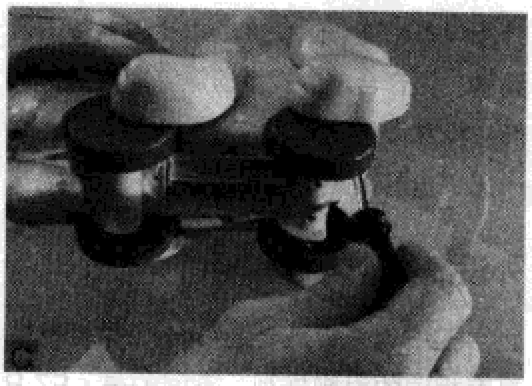
大部分玩具使用的都是小十字螺丝，所以你需要有一把小螺丝刀。将你卸下的各种螺杆分别放在不同的小容器里，以免重新组装的时候混淆。挖掘狗的肚皮下面有6个螺丝钉，卸下螺丝钉后打开后盖，空出的地方刚好可以安装机器人控制器和电池（见图C和图D）。

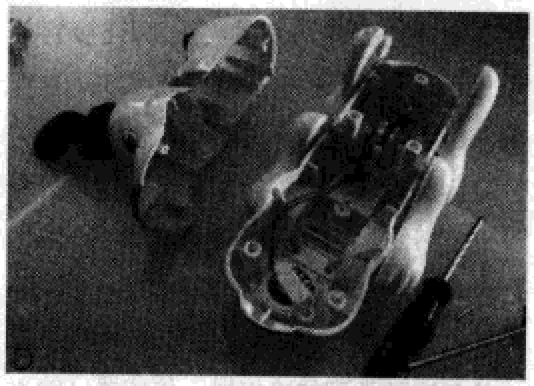
如果你的玩具是从旧货店买来的，那么它可能会有点脏。如果是这样，你可以将拆下来的塑料部件放进洗碗机里清洗。卸下挖掘狗脖子上的栓绳，你不再需要它了。

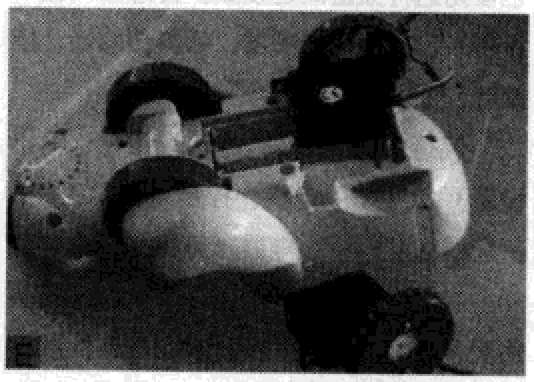
将伺服电机和传感器放到安装位置上，用Sharpie笔画出草图，在修改玩具外壳之前，标记出任何需要剪裁或钻孔的位置。遵循木匠的法则：测量两次，切割一次！

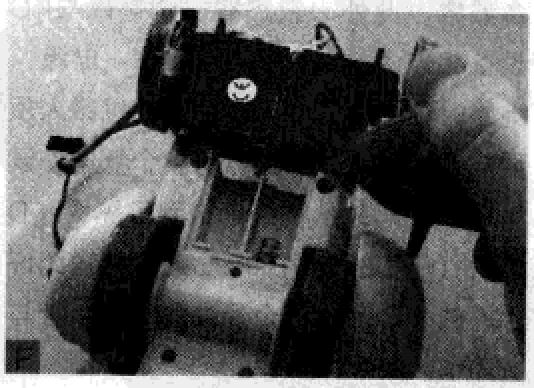
对于挖掘狗，伺服电机可以在后轴区背对背地安装，但是后轮被向外挤出了，比原来的玩具宽度宽了一点。所以我卸下了挖掘狗的后轮轴，挖开身体下的塑料为伺服电机腾出空间，并挖出后轮来容纳伺服角（见图E）。我还休整了一下它的鼻子，以便露出摄像机镜头。

我用从以前的玩具上收集来的小螺丝将伺服臂固定到轮子上，然后用热熔胶固定伺服电机（见图F）。为了避免轮









提示：**如果你有的地方做错了，等待胶干后，用一两滴医用酒精进行分离。**

子失衡，要多次检查确认它们与伺服电机对齐。

在几乎所有的外设安装过程中，你都离不开热熔胶。将伺服电机和传感器安装到车身修整过的位置上。看起来不错？棒极了！先滴几滴胶，确认安装位置，然后给它从所有可能的角度疯狂上胶。

4. 添加扬声器、LED和摄像头

对于任何不具有3针插头的外设，包括你从原来的玩具上取下的LED、扬声器和其他设备，我喜欢添加伺服连接器使它们容易插拔。要完成这项工作，首先切下伺服延长线电缆的公头焊接到你的外设上，参考其数据手册找出电源、地和数据触点。对于LED、扬声器以及其他的2线设备，只连接信号和地触点。

对于卸下的其他的LED、弹簧、垫圈、安装硬件或螺丝，你可以将它们收藏起来。

如果你想连接扬声器，先把它拧开，然后将它的2条线拆焊并用伺服延长线电缆代替，将它的白色/黄色和黑色线分别焊到触点上（见图G）。

将另一条伺服电缆连接到LED，黑色线（地端）连接到LED的负极，负极是较短的那条引脚。将LED用胶粘到挖掘狗领子顶上的孔里，也就是原来连接栓带的地方（见图H）。

为了方便安装和后续工作的进行，用标签工具给所有外设的电缆和插头打上标签。标记出每个伺服电机的位置（左/右），以及每个传感器的类型。对于挖掘狗，它有一个左伺服电机，一个右伺服电机，一个扬声器和一个LED。

对于摄像头，拧开外壳，拆除内部设施。其他的外设也照此操作，节省空间，方便安装。用热熔胶将摄像头轻轻粘到玩具外壳的内侧，镜头指向挖掘狗鼻子上的孔（见图I）。不要涂太多胶，因为你可能需要重新调整摄像头的位置，或者以后在制作其他项目时重复利用这个摄像头。

5. 最后组装

确定机器人控制器和电池组的安装位置。对于挖掘狗来说，腹部的位置是放置EZ-B控制器和电池组的最佳位置。参照EZ-B的手册确定伺服电机和传感器的每一个连接点。

挖掘狗的左伺服电机插头连接到引脚行D14，右伺服电机插头连接到引脚行D13。扬声器的信号和地连接到D7。LED的正极与信号线相连，负极连接到引脚行D6即接地。记录所有这些连接，配置软件的时候要用到这些信息。

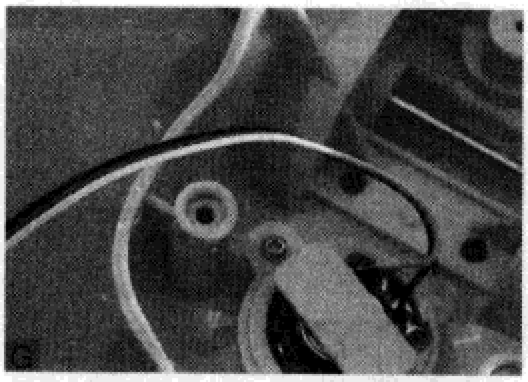
一旦连接完成，小心地将外壳安装回去，以便保护控制器的接线和其他易损零件（见图J）。

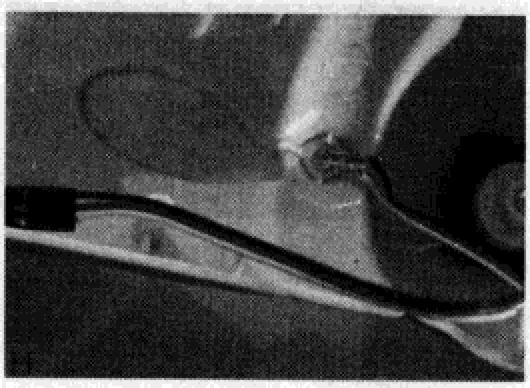
为了使机器人具有与众不同的外观，你可以在外壳上喷刷油漆。用砂纸在光滑的表面上打磨，然后清理干净以便油漆牢固地附着在上面。我在Playskool的小犬标签上喷了红色的油漆，然后从我们信赖的标签制造商那里拿了EZ-Robot的标签覆盖在上面。你也可以把整个外壳喷成你喜欢的颜色。把机器人带到油漆店，听听店家对油漆的类型和处理过程有哪些建议。

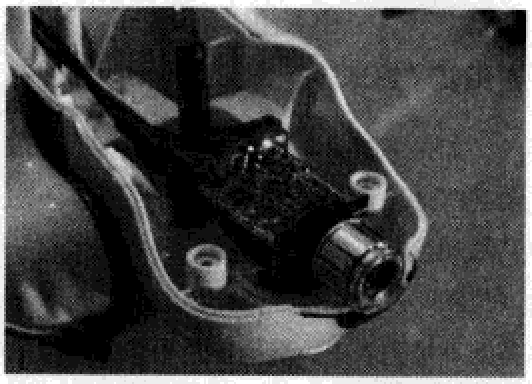
6. 连接到计算机

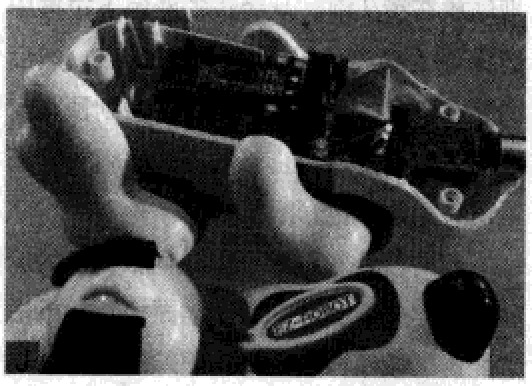
在系统托盘中找到蓝牙图标，右键单击图标选择“添加设备”，列表显示出附近的蓝牙设备。接通EZ-B的电源，等待计算机找到它，然后选择此设备并按“下一步”。当提示配对键时，选择“Provide A Key”并输入1234。你的计算机上应该显示EZ-B连接有两个COM端口。请注意编号较低的端口，它负责传输PC和EZ-B之间的连接数据。

从ez-robot.com/ez-builder上下载软件EZ-Builder，然后启动软件。这是一个应用程序，你可以通过它对机器人编程（你也可以使用Visual Studio .NET，下载地址为msdn.microsoft.com/en-us/vstudio）。在“添加控制”菜单下选择“连接”，指定COM端口为你建立蓝牙


G

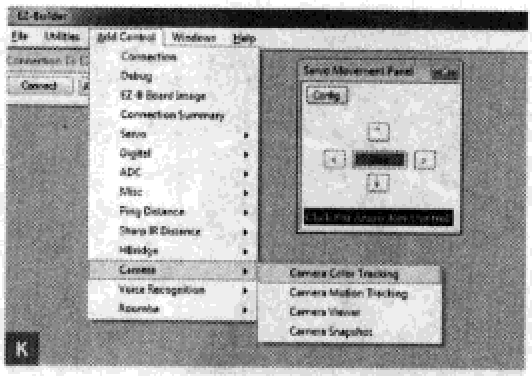


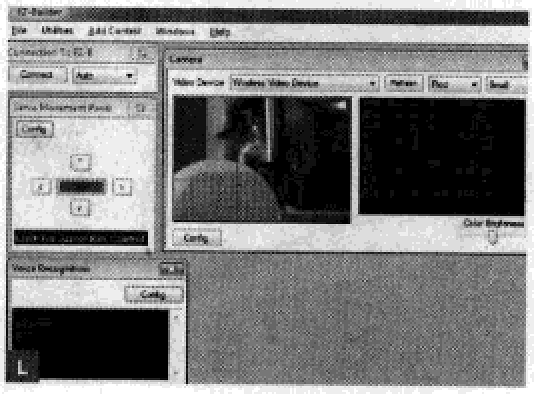


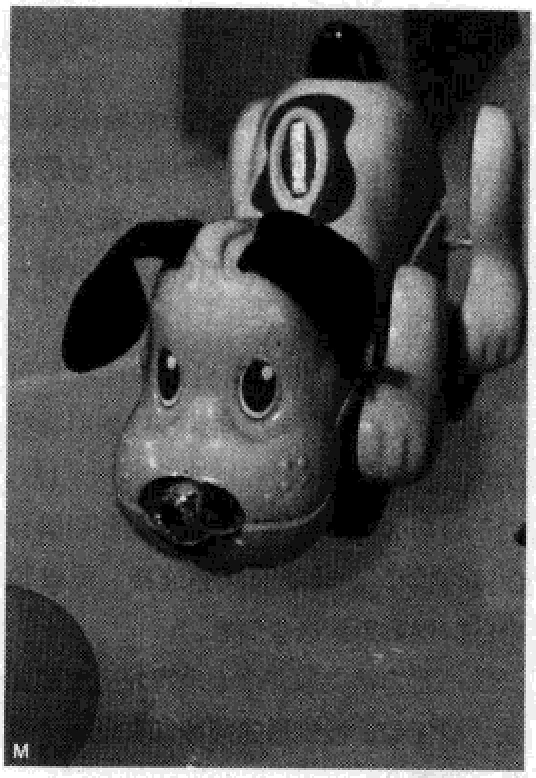


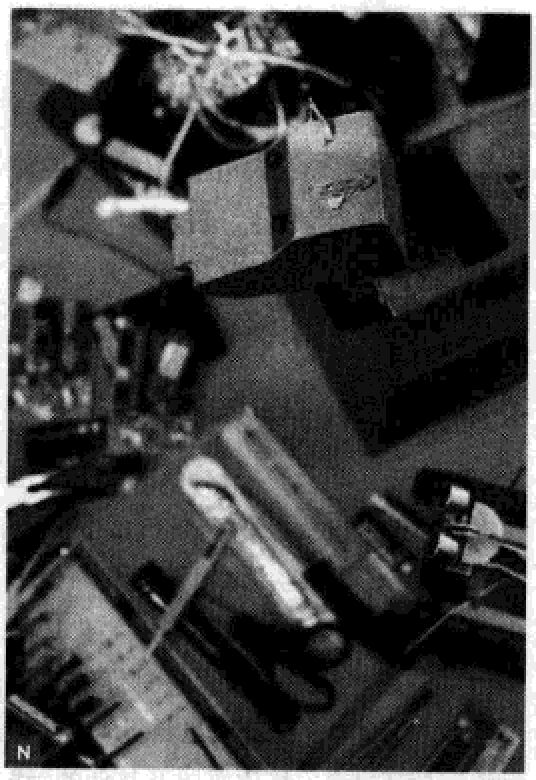
连接时的端口，然后单击“连接”。接下来选择伺服电机（也在“添加控制”菜单下），分别指定左右伺服电机到引脚行D14和D13的连接。

现在进行第一次测试。从Windows菜单中向你的工作区添加一个“修改伺服面板”。单击“配置”并选择修改的左右伺服端口，然后点单击“保存”。如果一切顺利，你现在应该可以通过点击箭头按钮或键盘上的箭头键控制挖掘狗在四周运动了。









7. 编辑“追球”行为

如果你的小车制作成功了，接下来需要在PC机上安装摄像头驱动程序。单击“添加控制→摄像头→摄像头色彩跟踪”（见图K）。你的摄像头会出现在视频设备的下拉列表中。选择你的摄像头，然后把球放在镜头前。从旁边的颜色下拉框中选择球的颜色（我选的是红色），然后调整右下角的颜色亮度滑块，直到预览窗口中只能看见球为止（明亮的房间或阳光最适宜摄像头色彩跟踪）。

若要将色彩跟踪翻译成伺服电机的运动跟踪，先退回“伺服运动面板”，单击“配置”按钮，启动运动跟踪。然后返回到“摄像头色彩跟踪”，钩选“启动向前运动”复选框。这样，当监测的彩色物体在前面时，机器人会向前运动。

现在，你可以让机器狗追着小球走了（见图M）。一段时间内你肯定会玩得很开心，但是，如果小球滚出了摄像头的视线怎么办？不必手动改变挖掘狗的方向，它可以根据语音命令作出反应。

8. 配置语音识别系统

EZ-Builder使你可以访问Windows 7或Vista操作系统内部的语音识别系统。若要访问语音识别系统，单击“添加控制→语音识别”，然后单击“配置”按钮。这时会打开一个表格，你可以在左侧添加被识别的单词或短语，在右侧添加相应的脚本命令（从最右侧的可能命令菜单中拖曳）。添加命令，如前进、后退、向左走、向右走、停止等，现在你就可以语音控制机器人了（见图L）。你还可以做些创新，例如添加短语“你好吗？”，然后设置机器人发出“哔哔”声来回应你，或者使用操作系统内置的语音合成功能来作出回答：“我做得很好，谢谢你的关心！”

如果你在语音识别过程中遇到困难，机器人不能识别你的声音，检查一下控制面板中声卡的录音设置。录音的音量可能被设置得过高或过低。Vista和Win7系统中都有操作向导，你可以使用向导设置语音识别功能，这些设置会被传送到EZ-Builder中。

进一步优化机器人

与你制作的第一个机器人进行互动，这是十分令人兴奋的事，而且你可以进一步扩展机器人的功能，只需要增加新的传感器和EZ-Builder控制器。只要你测试了每一个外设并确定它们可以正确地运行，就可以创建一个自定义脚本，赋予机器人独特的个性。例如，你可以编辑脚本，当距离传感器的返回值小于20cm时，机器人向左转。你可以从本教程以及ez-robot.com社区论坛获得帮助，也欢迎你来分享成果。

智能狗狗

图M：以前的哑巴狗狗现在可以自由移动、追逐红色小球、服从语音命令，多亏了它的EZ-B机器人大脑。

图N：作者的K-9机器狗（电视上“神秘博士”的忠实伙伴）是在EZ-B机器人控制器的基础上制作的。K-9能够避障，利用板载3D映射功能随人移动、合成语音，以及根据与人的交互更改它的个性。

因为机器人领域不受大公司控制，所以我们正经历一个伟大的时代革命。我们希望，今天的业余机器人能够成为未来的优秀机器人。我创造EZ-Robot机器人的主要目的是激励和锻炼你的创造力，同时希望你能与社区成员分享你的创作。机器人的未来开始于你的想象力！

请登录makeprojects.com/v/27观看挖掘狗和其他玩具机器人的运动视频。

DJ.舒尔斯是一位机器人专家，居住在加拿大阿尔伯塔省卡尔加里市。

摄影：科林·路

低成本激光投影键盘自制攻略（上）

◇陈士凯　RoboPeak团队

在制作3D激光扫描仪（见本刊2012年第2期）的过程中，我偶然在网络上发现有人销售可以投影出键盘画面的激光器组件，并且价格低廉。仔细想来，其实激光投影键盘的原理和3D扫描仪一致，于是便产生了DIY一个低成本激光键盘的想法。最终，本作品在我完成3D扫描仪之后3天内完成了，可见硬件部分的制作并不复杂。虽然完成的时间短，但其中也涉及不少的设计细节需要考虑，于是便写了此文和大家分享我的制作过程。

简介

相信大家对激光投射键盘应该有所耳闻，它通过光学手段，将计算机键盘的画面通过激光投影到任意平面（如桌面）上，操作者可以像使用真实键盘那样进行输入操作。

图1所示是由韩国Celluon公司生产的激光键盘产品，这类产品目前也可以在国内买到，不过因为价格高昂（仍旧在千元水平），我之前并没有买过，具体使用效果也不得而知。有人评价说，因为缺少物理反馈，这样的键盘的使用手感可能不好。

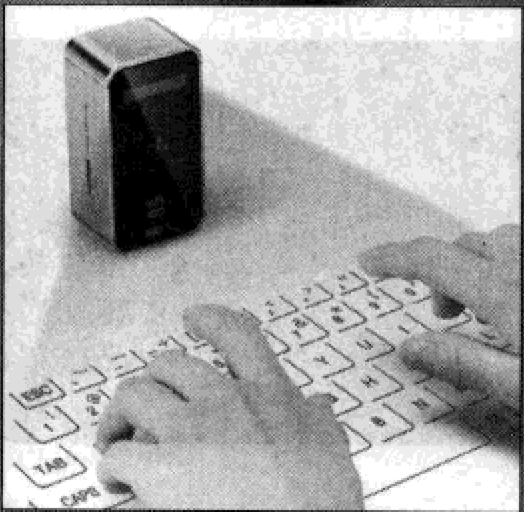


图1 Celluon公司出品的Magic Cube激光投影键盘

但无论如何，激光虚拟键盘还是非常能吸引眼球的，在投射出的键盘影像上输入非常有科技感并且足够科幻。如果自己能以较低成本DIY一台出来，那岂不是更好？

本文提出的DIY激光投影键盘方案可以保证较低的成本（百元左右），并提供较强的性能（30Hz的输入频率、支持多键输入），并且还有额外的功能——把它当作多点输入设备来使用，比如可以作为绘图板，并能感应手指的压力大小。

在完成本制作后，我拍摄了一段演示视频展现它的性能，感兴趣的读者可以访问如下地址观看：http://www.csksoft.net/blog/post/280.html。

原理分析

在具体介绍实现过程前，我们首先需要分析这类激光投影键盘的工作原理并给出解决问题的思路，这样也可方便大家举一反三。首先需要解决的核心问题有两个：如何产生键盘的画面？如何检测键盘输入事件？

产生键盘画面

对于产生键盘画面，可能很多人认为这种画面是通过激光+高速光学振镜得到的。这种方式虽然在技术上是完全可行的（见图2），但由于需要采用精密的机械部件，成本非常高，也难以做成轻便的产品。

实际上，在激光投影键盘产品中，这类画面往往是通过全息投影技术得到的。激光器通过照射先前保存有键盘画面的全息镜片，在目标平面上产生相应的画面。这种方式的成本非常低廉，市面销售的激光笔常配备的投影图案的镜头也是用这种原理产生画面的，如图3所示。

不过这类全息投影方式对于DIY来说并不现实，幸好得益于目前网络的便利——通过网购可以直接买到用于产生激光键盘画面的全息投影设备了，如图4所示，且成本在50元以内。

识别键盘输入事件

在解决了产生键盘画面的问题后，这

图5 通过计算机视觉的方式识别并判断键盘输入事件

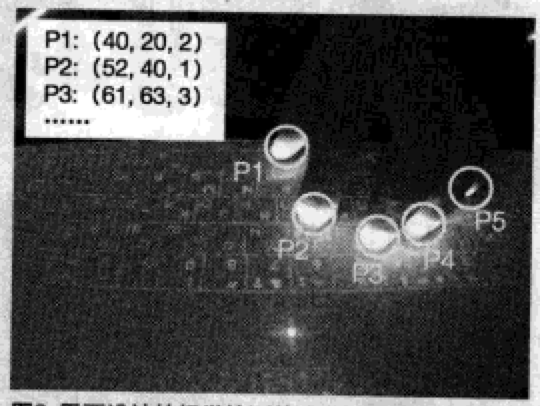


图6 需要设计的视觉检测算法和期望的检测结果

图7 RoboPeak团队曾进行的双目视觉进行深度提取的实验

里分析另一个看似简单的问题：如何判断键盘输入事件？

由于键盘画面可以投射在任意表面上，因此传统的靠物理按钮的手段显然是不可能的（否则也称不上虚拟键盘），而是需要以非接触的手段来检测。这里给出了几种途径，它们在技术上都是可行的。

1. 通过计算机视觉的方式，通过图像来识别：通过摄像头捕捉键盘区域的画面并进行分析，判断出键盘输入事件。

2. 通过检测按键发出的声音来判断：这里假设使用者在按键时会碰触桌面，产生一定的敲击声。通过检测该声音传播时间，可以进行定位。国外的一些研究机构已经实现了该方案。

3. 通过超声波雷达手段来判断：通

图2 通过光学振镜扫描产生的激光投影画面（图片来自www.edaboard.com）

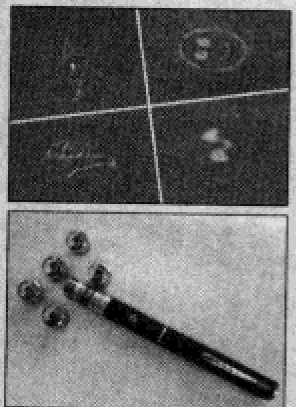


图3 可以投射出图案的激光笔镜头

图4 可以购买到的投影键盘画面的激光器模组

过发射超声波并检测反射波的传播时间差来检测目标物体（手指）的位置。

这3种方案国内外均有文献表明可以实现，不过相对来说，计算机视觉方案的硬件较为简单，仅仅需要一个摄像头，因此这里我们采用了这种方式。

图5所示是本制作早期阶段，摄像头所拍摄的使用过程的画面，基于这类画面进行计算机视觉的运算，就可以得到我们需要的键盘事件。

其实这里涉及两个子问题：

1. 如何判断手指按下的是哪个键？

2. 如何判断手指已经“按到”了对应的“按钮”？

由于人类主要是通过视觉来理解外部世界的，因此可以很直观地想到，只要能够识别并定位画面中手指的位置，第一个问题就可以解决了。这里先不讨论定位本身该如何实现，假设我们的算法已经可以和人脑一样，轻松地在一副画面中找到手指的位置，并用相对于图像的坐标来表示(*x*,*y*)。

接下来就要考虑第二个问题，如何判断手指已经“按下按钮”？一个办法是通过捕捉声音，即像前文提到的那样，通过捕捉手指碰触桌面产生的敲击声来判断，但这样会带来额外的问题。

1. 需要额外的硬件和电路，增加了复杂性。

2. 如何将敲击声与画面中真正敲击的手指对应？比如图5中的5个手指都可能处于敲击状态，此时难以进行匹配。

3. 其他的噪音也会被当作键盘敲击。

因此这里还是依靠视觉的手段来进行判断。在分析可行方案前，需要明确“按下按钮”的具体指标。我们可以定义当手指碰触桌面，或者距离桌面足够近时为“按下”。那么问题的实质就是我们需要检测出手指距离桌面的距离*z*。在求出该数值后，我们只需简单地判断它小于某一个值，就认为手指已经“按下按键”。

综合起来看，我们需要设计一种视觉处理算法，它可以在一幅画面中找出每个手指相对画面的位置(*x*,*y*)，以及手指距离桌面的高度*z*。事实上我们就是在检测手指的三维空间坐标(*x*,*y*,*z*)了，如图6所示。

如果之前阅读过我的关于3D激光扫描仪制作的文章，相信大家就能猜到具体的实现方式了，其实算法本身就是做三维的激光测距。不过这里我们先按照前文的思路继续分析下去。

做三维测量有多种方式，比如现在可以购买微软的Kinect深度传感器。如果不考虑成本，这的确是一种非常有效的方法，可以非常好地解决本文提出的这些问题。另一种类似的办法是使用双摄像头来做双目视觉处理，提取目标画面物体的深度信息，如图7所示。不过目前这类处理比较消耗处理资源，且校正过程比较复杂，并不适合这里的应用。

我们采用与基于三角测距原理的激光测距仪一致的办法，通过主动投射激光来做目标物体的三维坐标检测。在自制的低成本激光3D扫描测距仪中，我使用一束线型激光照射目标物体，目标物体的反射光被摄像头捕捉到，利用三角测距原理，可以求出目标物体中被线激光照亮部分的坐标信息。

这里我们将线激光所产生的光线平面与桌面平行，并紧贴在桌面之上，将摄像头放置于激光发射器上方并俯视桌面，如图8所示。

此时若手指接近桌面，则会阻挡住激光的通路，产生反射，反射的光点画面会被摄像头拍摄到，如图9所示，这是一个标准的三角测距的结构设置。细心的读者可能已经发现前文摄像头所拍摄到的画面（见图5）中手指尖部的白色光斑，这正是安装了线激光器后，激光被手指遮挡产生的反射效果。

对于这种基于线激光的测距方式，我们可以通过三角关系求出被激光照亮部分相对于以激光发射口为原点、位于线激光组成平面内的坐标*P*(*x*,*y*)。而又因为线激光组成的平面与桌面平行，且在设计上这两个平面是紧贴着的，所以可以近似地认为坐标点*P*(*x*,*y*)是位于桌面平面的。

这样的设置具有以下优点：

1. **便于检测指尖**：当手指遮挡激光平面后产生了反射，因此会在摄像头画面中出现较为明亮的光斑，可以通过简单的视觉算法来提取指尖部分

2. **便于检测按键事件**：由于只有当手指靠近或者碰触到桌面，才会遮挡住激光产生反光，而在距离桌面较高的位置不会被检测算法察觉，检测按键事件可以做出简化，不需要通过检测手指距离桌面高度来判断。而只要当检测算法检测到手指反光，就可以认为出现了按

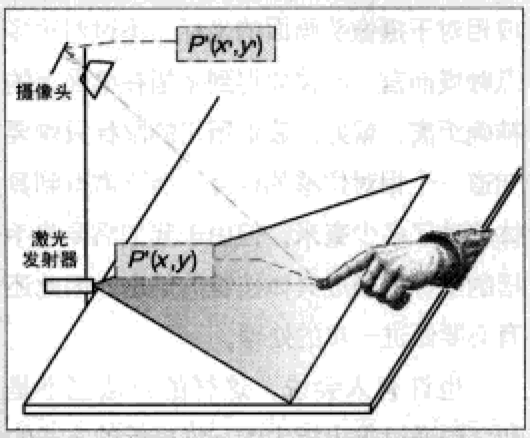


图8 利用激光三角测距原理用于手指空间坐标检测

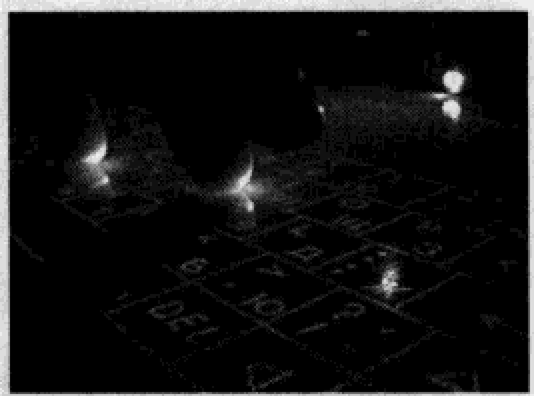


图9 本制作所采用的线激光测距方案

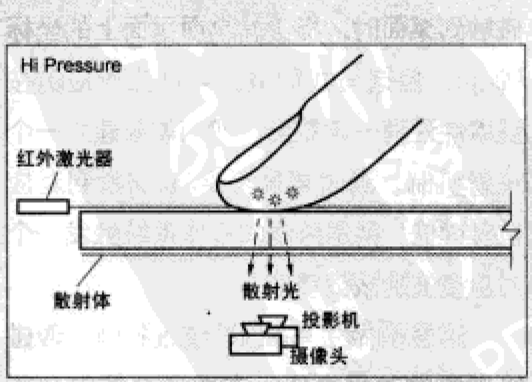


图10 LLP方式的多点触摸技术（图片来自www.acm.uiuc.edu）

键事件，且可直接用当前检测到的坐标来进行后续的处理。

值得一提的是，这样的方式对从事多点触摸领域的朋友来说应该不会陌生，有一种称为LLP（Laser Light Plane）的技术和我们的方式很类似，其原理如图10所示。

LLP技术也通过发射一束线型激光构造出一个光平面，并捕捉手指反光来做多点触摸定位。而摄像头的安装位置也并非一定位于底下，同样也可以安装在与本制作相同的位置。

事实上，本制作采用的激光测距方案的前期处理方式是和LLP一致的：提取手指指尖的兴趣点（Interest Point），并转换成相对于摄像头画面的坐标。不过对于多点触摸而言，不需要得到手指在桌面上的精确距离，就好比我们所用的鼠标只需要知道一个相对位移的程度，而不需得到具体移动了多少毫米。但由于我们需要将手指的坐标转换成具体按键的信息，因此还有必要做进一步的处理。

也许有人会说，这样的方法岂不是和之前通过求出指尖的三维坐标的方式的思路不同吗？的确，目前的方式无法直接求得手指距离桌面的高度z。并且借助主动发射线激光的特性，通过求取z来判断是否存在按键事件也显得不必要了。但这并不表示我们无法求解手指距离桌面的高度，在后文我将指出，求出手指距离桌面的高度仍旧是有意义的。

判断并产生对应的按键事件

前面我们已经解决了如何检测手指碰触到桌面时，指尖在桌面平面上的坐标$P(x,y)$，但这与我们最终要产生对应的按键事件还有一定距离。我们需要建立一个映射机制，通过桌面坐标$P(x,y)$找到对应按键键值，并最终通知操作系统触发一个对应键值的按键事件。

这里的做法与GUI系统进行UI元素碰撞判断的过程类似。在图形系统中，所有UI元素均保存有它们相对于屏幕的坐标值，GUI系统不停地判断当前鼠标指针位置是否落入了某一个按钮或者选择框的坐标范围内，如图11所示。

与GUI系统类似，我们首先需要建立投射键盘图案中每个按键的坐标信息，然后将指尖相对于桌面平面上的坐标$P(x,y)$映射到键盘图案的坐标系内，进行按键的判断，如图12所示。

上述过程涉及两个步骤。

1. 将以激光发射器为原点的指尖坐标P(x,y)映射到以键盘图案左上角为原点坐标的平面内，得到映射点P'(x,y)。该过程用数学表达记作：$P'(x,y)=f_{projection}(P(x,y))$。

2. 将映射点$P'(x,y)$与事先记录的每个按键的坐标值比对，求得当前对应按下的按键值。该过程记作：$Key[n]=f_{mapping}(P'(x,y))$。

可能有人会问，为何不直接按照以激光发射器原点的坐标来表示每个按键的坐标？这样第一步的映射$f_{projection}$就可以省略了。这的确也可以达到同样的效果，但是由于在组装上会存在误差，不能保证每次制作出来的成品激光发射器与键盘图案投射的位置都完全一致，并且单个成品在使用过程中也会因为热胀冷缩等原因，使键盘图案发生偏移。一旦键盘图案发生了移动，则先前以这种方式记录的所有按键坐标都需要重新测量。但如果一开始就以键盘左上角为原点的方式记录坐标，则每次组装完成品或者发生图案偏移后，只需进行简单的矫正，求出一个新的$f_{projection}$函数即可。

对于步骤2中的$f_{mapping}$，一种简单的实现方式是依次按照前文例图中的判断代码对每个按键轮流计算，判断是否被“按下”。这种实现方式简单直观，但是性能较差。对于这类问题，可以使用Kd-Tree的数据结构进行快速地查找。

系统框图

前面我们解决了制作激光投影键盘的两个关键问题，这里将最终采用的方案的大致原理做出总结（如图13所示），方便大家理解。在实现过程部分，将具体就其中的实现细节做出介绍。框图中还包含了本制作的另一个功能——多点触摸绘图板，该部分也将在具体制作过程中介绍。

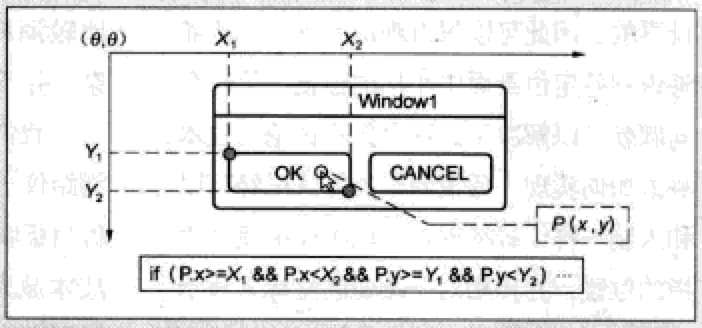


图11 GUI系统通过对比鼠标坐标和按钮UI元素的坐标来判断鼠标是否存在于按钮元素上方

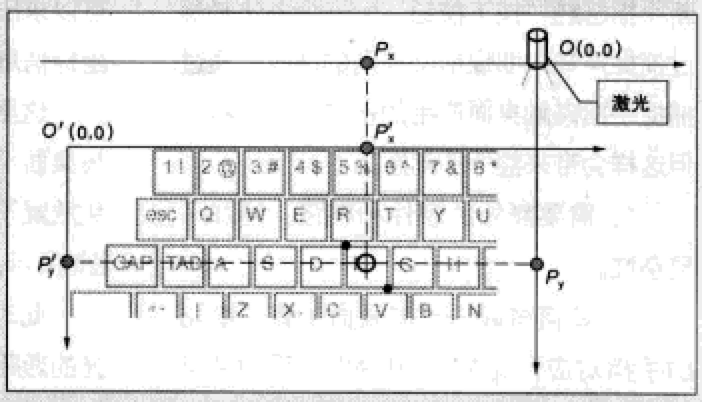


图12 将基于桌面平面以激光器为原点的指尖坐标$P(x,y)$映射到键盘坐标平面，并进行按键判断

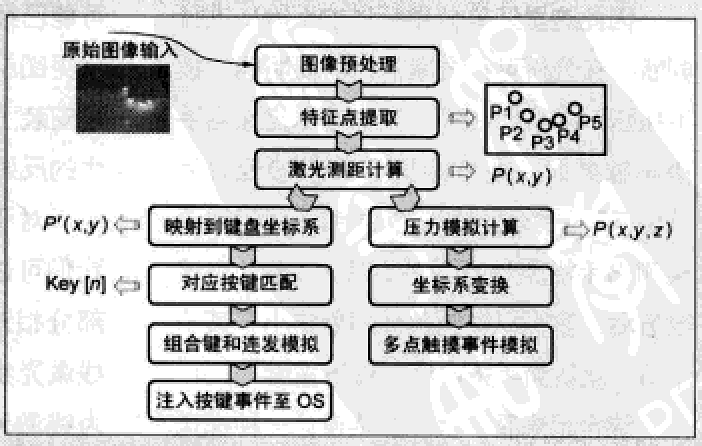


图13 激光投影键盘的系统框图

激光投影键盘的制作过程

器件选择

由前面的原理分析可知，本激光键盘至少需要摄像头、投射键盘画面的激光器以及一字线激光器。我选用的器件如表1所示。

对于摄像头，一个比较关键的特性是需要采用广角镜头。目前的USB摄像头一般视角在90° 左右，这样的摄像头需要在很高处俯视，才能拍摄到完整的激光键盘图案，如图14所示，如果想把本投影键盘制作得小巧，则需要采用广角镜头，视角最好在120° 以上。

除了镜头，摄像头本身没有特殊要求，一般市面上VGA画质的普通USB摄像头即可满足要求。我采用的镜头和摄像头如图15所示。

投射键盘图案的激光发射器模组前文已经提到，没有特殊要求，如图16所示。

用于测距的激光发射器只需要使用红外波段的一字线激光器，功率在50mW左右即可，如图17所示。出于安全考虑，不要使用功率过大的激光器。采用红外波段主要是为了过滤可见光干扰，简化视觉处理中的兴趣点提取，同时也不会因为手指反射对投射的键盘图案产生干扰。

表1　制作激光投影键盘所用的器件

元件	核心参数
摄像头	广角镜头，视角>120°
投射键盘画面的激光器	无特殊要求
一字线激光器	红外激光器，功率>50mW
红外带通滤光片	800nm左右光谱带通

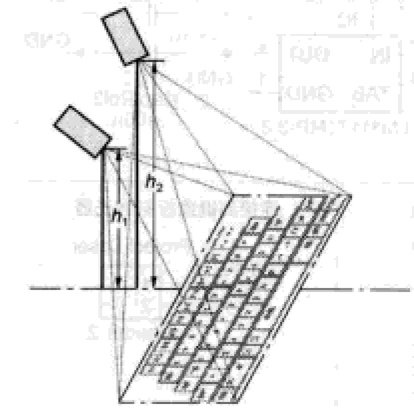
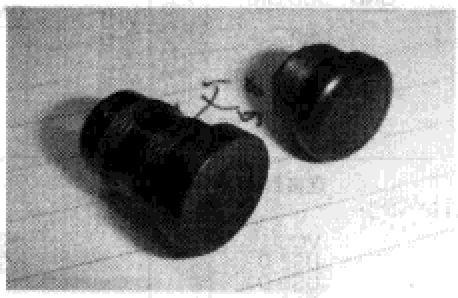



图14 窄视角的摄像头需要安装在较高的位置。实物图为两种不同视角的摄像头镜头，左边为窄视角镜头，右边为广角镜头

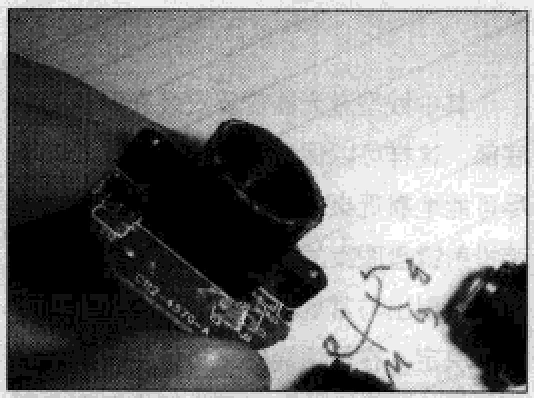


图15 USB摄像头模组

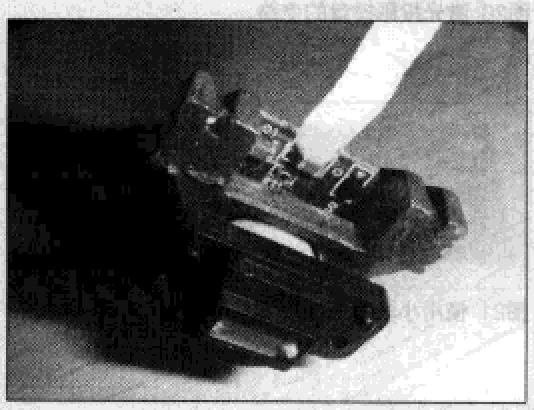


图16 选用的激光键盘图案投射模组

摄像头改装

我在之前的3D测距仪文章中提到过使用红外激光器配合红外滤光片进行测距，可以有效地避免可见光干扰的技巧，在这里也仍旧适用。对此我们需要对摄像头镜头做一些改造，首先拆除镜头上的红外光截止滤光片，如图18所示，然后在镜头头部安装红外带通滤光片，如图19所示。

电子系统的制作

本制作的电子系统比较简单，仅仅涉及给两个激光发射器供电以及通过USB电缆连接摄像头至主机，并没有采用任何单片机，这也意味着之前原理部分所介绍的算法将完全在PC上实现。这样的优点是大幅降低了制作成本和制作的难度。如果使用的是免驱动USB摄像头，在PC上使

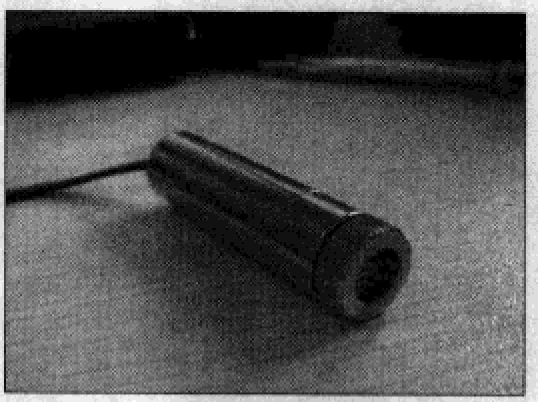


图17 选用的红外线型激光器

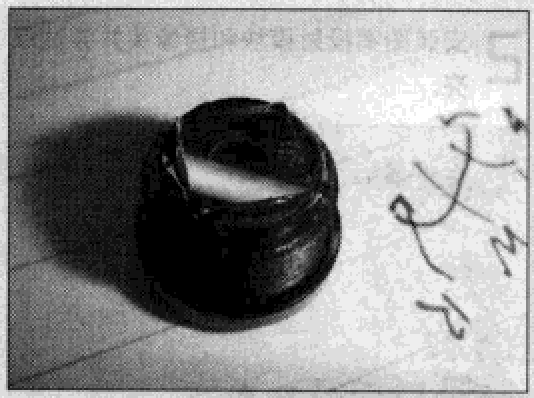


图18 拆除镜头内的红外截止滤光片

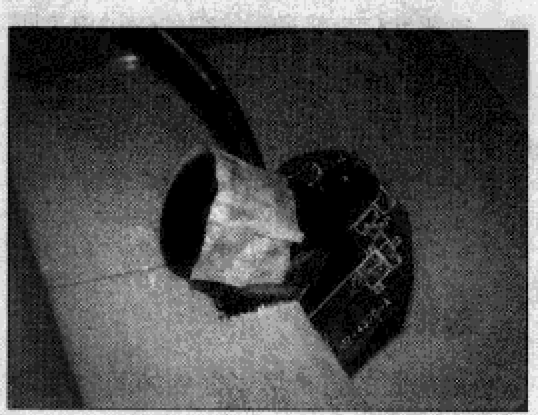


图19 在镜头表面安装红外带通滤光片

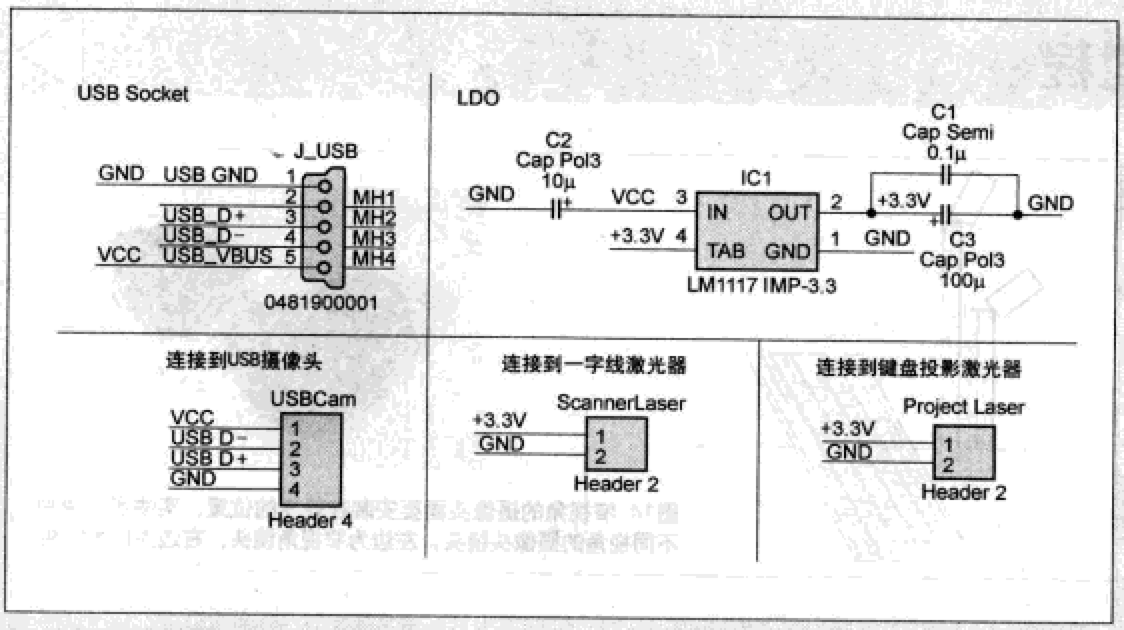


图20 激光投影键盘的电路

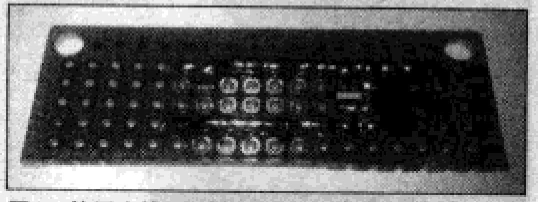


图21 使用小块洞洞板制作简易的驱动电路

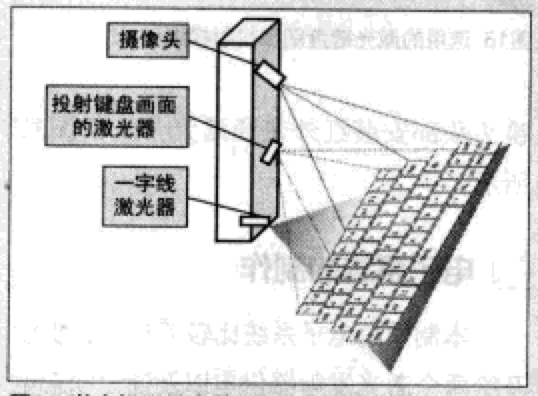


图22 激光投影键盘的结构

用本激光投影键盘只需要额外运行处理程序即可。缺点是这样的设计无法给手机等不支持USB的设备使用。

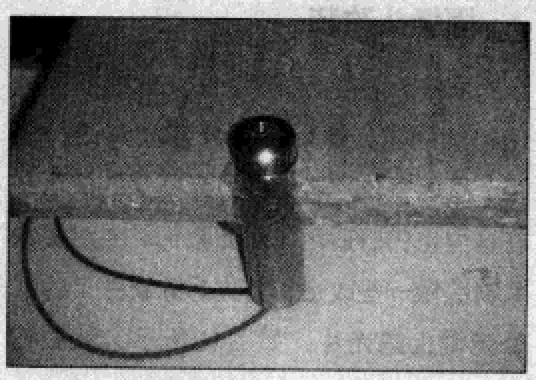
由于摄像头已经使用了一条USB电缆，这里我们直接通过USB的5V供电来驱动另外两个激光器，电路很简单，如图20所示。可以看到电路的核心就是一个3.3V的LDO芯片，可以裁剪一个洞洞板制作，如图21所示。

总体安装

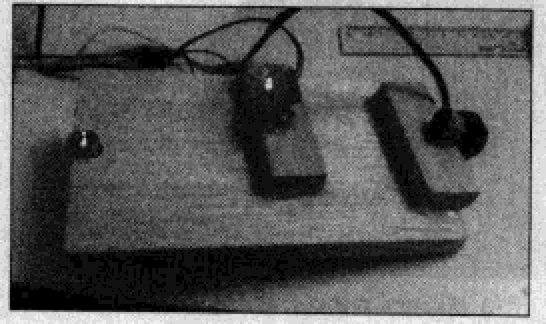
由前面的分析可以得到如图22所示的安装结构。

其中线型激光器需要安装在设备的最底部，这样可以保证产生的激光平面能够尽可能地靠近桌面平面。在激光器上方安装投射键盘图案的激光模组，它的高度以能够投射出与常规键盘尺寸大小类似的图案来决定。在最顶端安装摄像头，其高度以摄像头能够完整拍摄整个键盘图案画面为宜。

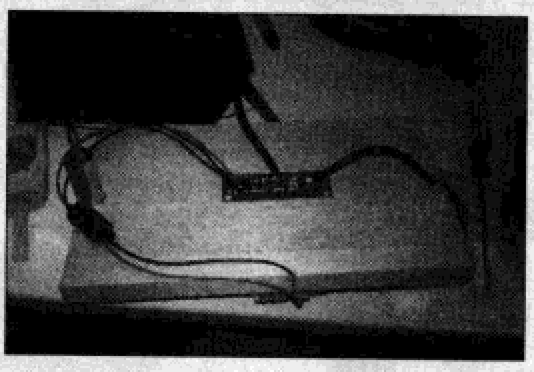
1 我使用一块轻质木材作为安装这3个部件的整体支架。将激光器安装在木板最底部，使用热熔胶固定。



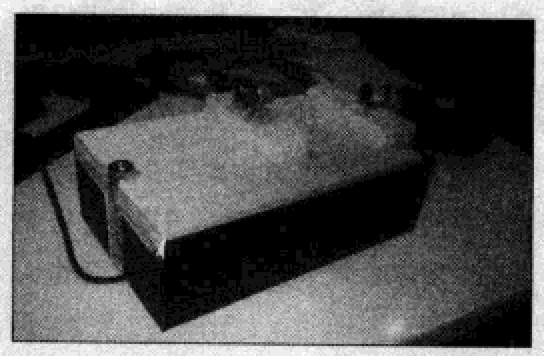
2 安装图案投射模块和摄像头并尝试点亮。



3 在木板背面安装稳压电路板和所有供电连线。



4 将木板装入一个牢固的纸盒。



5 完成并通电测试。

6 在顶部加装一个保护罩，本制作的实体部分就组装完毕了，在后面的文章中我们将介绍本制作的重点——视觉算法的设计和程序的编写。

低成本激光投影键盘自制攻略（下）

◇陈士凯　RoboPeak团队

视觉算法的设计和程序的编写

前期视觉处理

由于本制作的视觉处理部分都在PC上进行，因此我使用了OpenCV库来加速视觉运算代码的开发。在进行原理部分提到的手指尖提取和坐标求解前，需要对摄像头捕获的原始画面做一些前期处理，方便后续的计算。

1. 镜头扭曲矫正

由于使用了广角镜头，摄像头拍摄到的画面会存在比较明显的扭曲，如图23所示。

这样扭曲的画面难以直接进行处理，计算出后续需要的坐标信息，因为这种扭曲变换是非线性的。因此这里首先需要对摄像头镜头进行校正。在之前的文章中对摄像头矫正技术进行过介绍，这里仍旧使用matlab的摄像头校正工具进行校正。在OpenCV中也提供了相关函数和工具可以对摄像头校正，不过很多人反映相比matlab的算法，OpenCV函数校正得到的

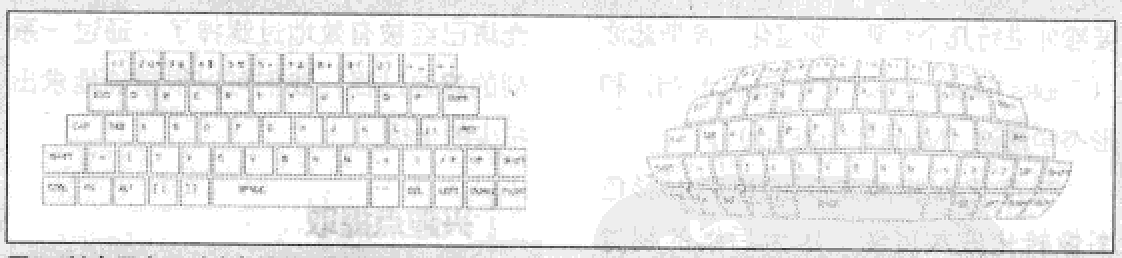


图23 键盘图案通过广角镜头拍摄后产生了扭曲

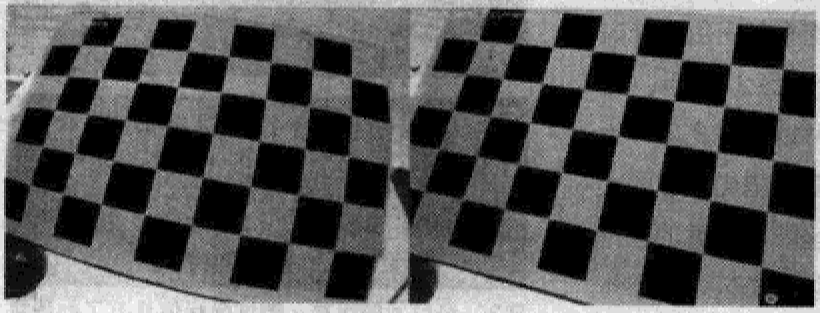


图24 将左侧广角镜头的原始画面进行扭曲修正，得到右侧画面

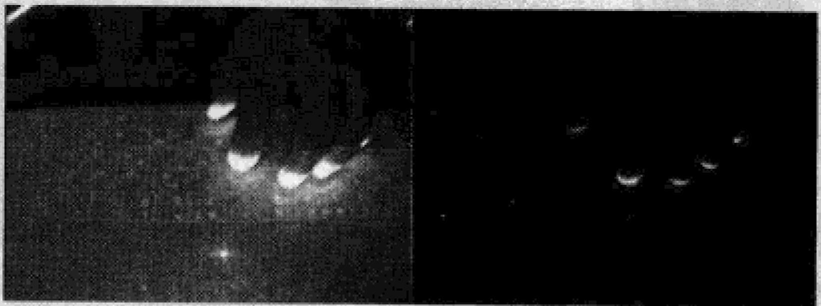


图25 红外带通滤光片有效地过滤了可见光干扰

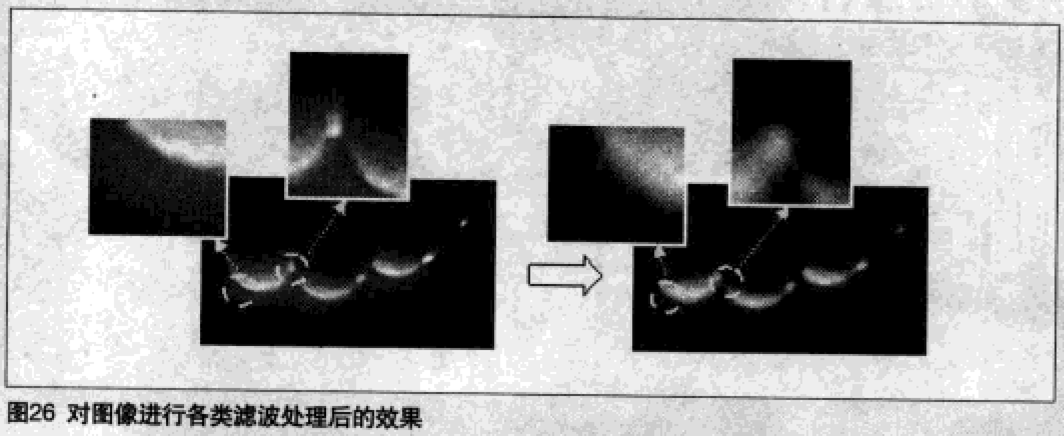


图26 对图像进行各类滤波处理后的效果

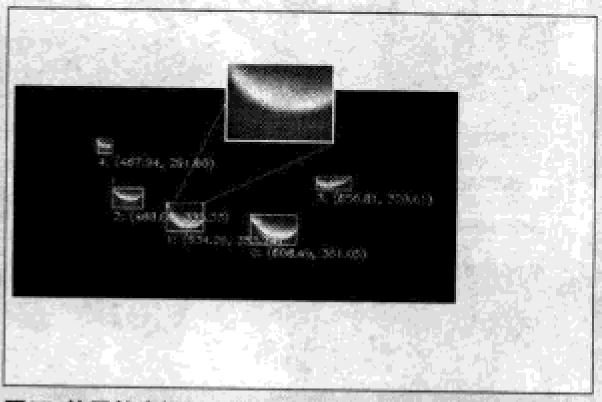


图27 使用轮廓提取手段提取出来的手指区域坐标

结果略差。

在使用Chessboard图案完整校正后，可使用OpenCV的cvInitUndistortRectifyMap/cvRemap函数通过校正数据将扭曲的画面重新修正，如图24所示。

这里有一点需要注意，在先前的安装阶段，我们提到摄像头需要安装红外带通滤光片。但在安装滤光片后，由于可见光都被过滤，之后无法再进行上述的镜头校正，因此这部分的校正工作需要先于红外滤光片的安装。

2. 滤波

由于摄像头镜头加装了红外带通滤光片，可见光可以被有效地阻挡，因此在摄像头捕获的画面上基本只含有手指对红外激光的反射，如图25所示。

对于这样的画面，基本上可以直接进行后续的视觉处理，不过一般我们还需要额外进行几个步骤：灰度化、高斯滤波（Gauss Filter）、阈值化（Threshold）和形态学滤波（Morphology Filter）。

灰度化即将原先RGB色彩的彩色图像转化成灰度图，因为后续的视觉算法并不关心色彩信息，但需要反射光亮度，使用灰度表示后可以大幅加快处理速度。高斯滤波、阈值化、形态学滤波用于过滤画面中的噪点并且使得反射光斑变得平滑和连贯。如果不熟悉这部分概念，可以参考《Digital Image Processing》一书。这几步操作在OpenCV中均有对应函数可以实现。

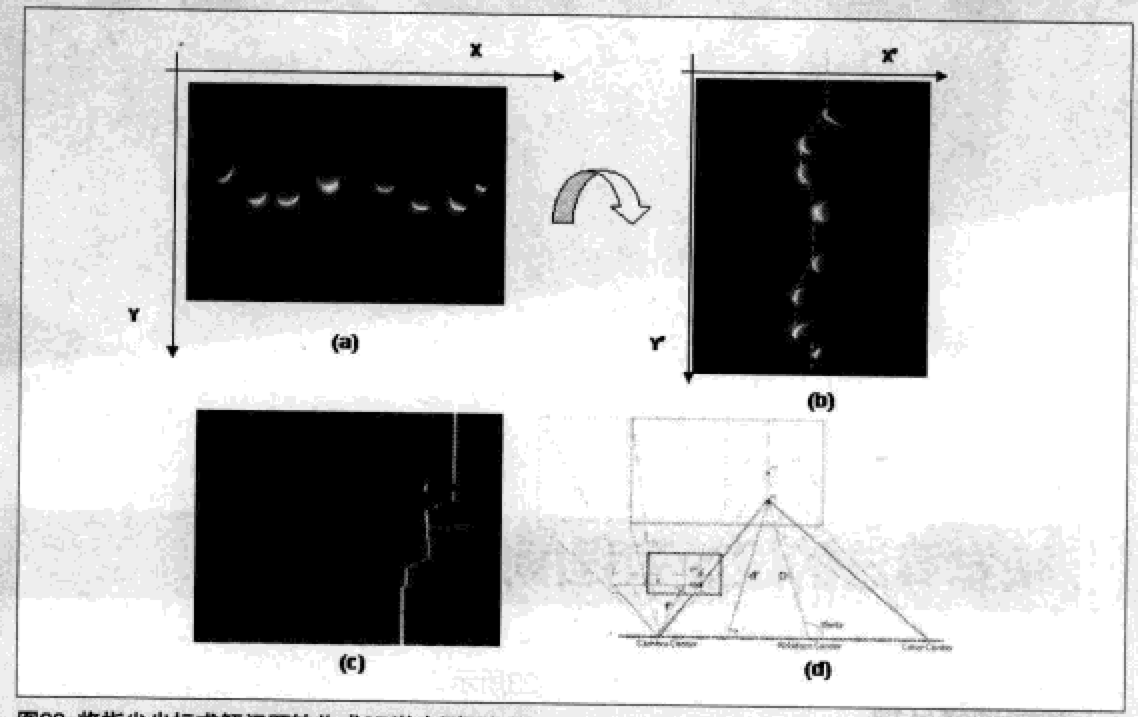


图28 将指尖坐标求解问题转化成3D激光测距问题

图26展现了经过上述滤波算法后，手指尖激光反光光斑处理后的效果。可以看到，原先光斑外围的反射光干扰以及两个比较靠近的指尖之间“粘连”的光斑已经被有效地过滤掉了。通过一系列的滤波过程，我们可以很精确地求出指尖的坐标。

兴趣点提取

可以使用OpenCV提供的cvFindContours对先前与处理得到的光斑画面进行轮廓提取，进而求解出每个光斑区域在图像中的位置，如图27所示。进一步，我们通过质心法并以光斑亮度作为权重，可以大致求解出每个指尖中心的大致坐标。虽然这个中心坐标未必真的在指尖中心，但相比简单的以光斑区域中心作为指尖中心的方法要精确很多。

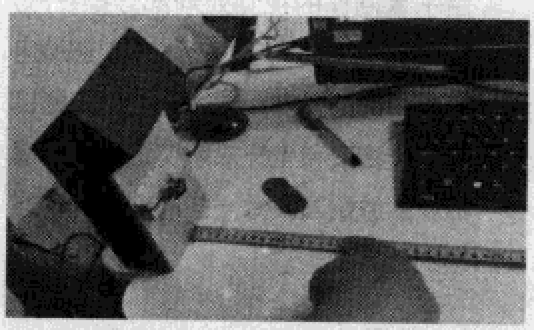


图29 对激光测距部分进行校正

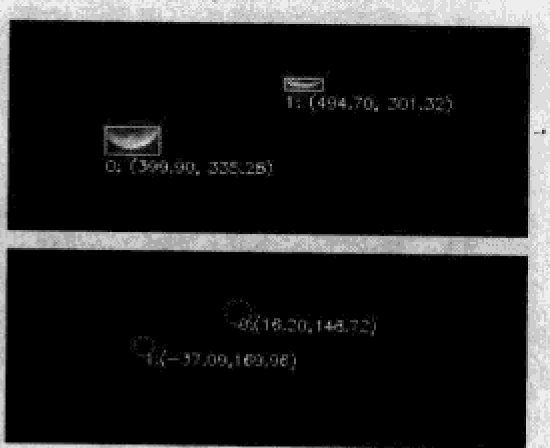
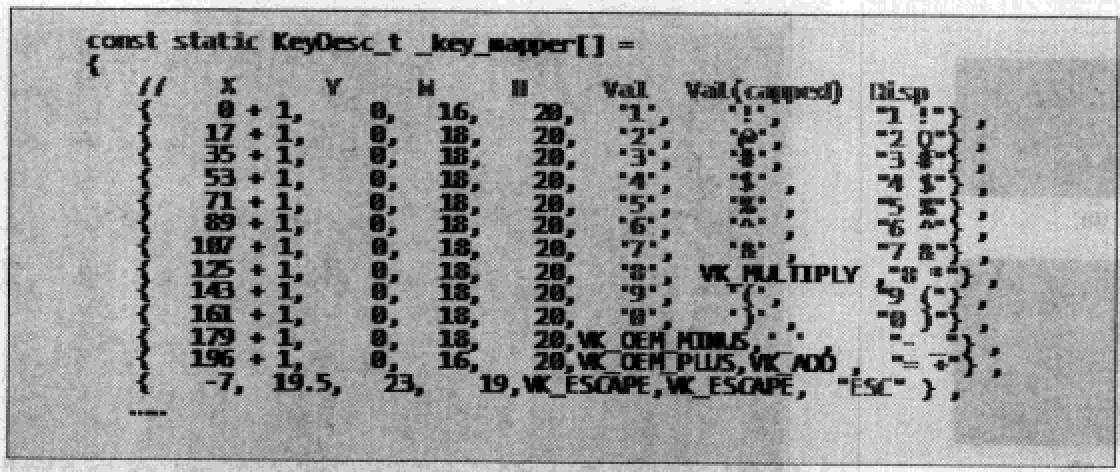


图30 经过本轮运算，测试坐标值具有了物理意义，均以毫米为单位表示



```
const static KeyDesc_t _key_mapper[] =
{
    //    X        Y     W     H     Val    Val(capped)     Disp
    {    0 + 1,    0,   16,   20,   '1',   '!',            "1 !"},
    {   17 + 1,    0,   18,   20,   '2',   '@',            "2 @"},
    {   35 + 1,    0,   18,   20,   '3',   '#',            "3 #"},
    {   53 + 1,    0,   18,   20,   '4',   '$',            "4 $"},
    {   71 + 1,    0,   18,   20,   '5',   '%',            "5 %"},
    {   89 + 1,    0,   18,   20,   '6',   '^',            "6 ^"},
    {  107 + 1,    0,   18,   20,   '7',   '&',            "7 &"},
    {  125 + 1,    0,   18,   20,   '8',   VK_MULTIPLY,    "8 *"},
    {  143 + 1,    0,   18,   20,   '9',   '(',            "9 ("},
    {  161 + 1,    0,   18,   20,   '0',   ')',            "0 )"},
    {  179 + 1,    0,   18,   20,VK_OEM_MINUS,'_',         "- _"},
    {  196 + 1,    0,   16,   20,VK_OEM_PLUS,VK_ADD,       "= +"},
    {   -7,  19.5,   23,    19,VK_ESCAPE,VK_ESCAPE,        "ESC" },
    ....
```

图31 使用一维数组，保存每个按键中心点的坐标(x,y)、按键的尺寸以及按键的键值

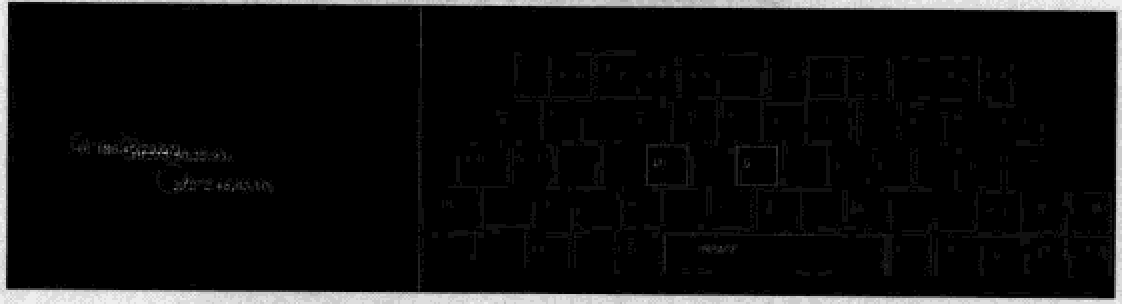


图32 将坐标映射到对应“按下”的按键，并提供视觉反馈

手指坐标计算和校正

在得到了手指光斑中心点相对于画面的坐标之后，可以通过三角测距的方法，把手指在桌面平面内的坐标$P(x,y)$求出来。该过程可以类比激光3D测距中的算法，如图28所示。

我们可以把兴趣点画面顺时针旋转90°，即将图像的X轴、Y轴相互交换，并在兴趣点之间连接起直线，如图28（b）所示，就会发现这样的画面就和进行3D激光测距出现的激光扫描线类似，如图28（c）所示。因此，我们可以按照3D激光测距中推导的公式，求出画面中每个兴趣点的真实坐标（即以激光器为原点、桌面所在平面的坐标系里的坐标）。

这部分的具体原理和公式推导请参考《自制低成本激光3D扫描测距仪》一文。为了能够进行精确的激光测距，我们也需要像该文中描述的那样对本制作进行校正，可以在投影键盘前方用直尺做测量，并进行曲线拟合，如图29所示。

经过本轮运算，我们可以得到先前监测到的兴趣点在桌面平面坐标下的表示，测试坐标值具有了物理意义，均以毫米为单位表示，如图30所示。

按键映射和校正

在得到了以桌面坐标平面表示的指尖坐标P(x,y)后，我们需要再进行校正，得到前文提到的映射函数：

$P'(x,y)=f_{projection}\ (P'(x,y))$

该部分的校正比较容易，可以将手指放置在键盘图案的某几个“按键”上，然后将当前的坐标$P(x,y)$与所“按”“按键”在键盘图案的坐标$P_{key}(x,y)$做一下对比。

在理想状态下，每个$P(x,y)$与对应的$P_{key}(x,y)$都偏差了一个固定的位移量D。不过由于校正中会带来误差，每次测量时的偏差量D'与理想的位移量都存在一个误差偏移$Derror$。即：$P_{key}(x,y)=P(x,y)+D'+Derror$。

这里我们就可以采用多次测量，并以最小二乘拟合的方式把$Derror$给消除掉，得到近似于D的一个校正值。因此，这里的映射函数就是：$P'(x,y)=P(x,y)+D$。

另外，这里也需要把键盘图案的坐标事先保存下来。我直接对投影在桌面上的键盘图案进行了测量，并按照如图31所示的格式保存在程序当中。

在有了上述数据后，一方面我们可以使用Kd-tree来快速查找到所按下的按键ID，即前文所说的函数$Key[n]=f_{mapping}$（$P'(x,y)$）。

这里的$f_{mapping}$在我的实现中，就是一个Kd-tree。相比循环查找的$O(n)$复杂度，Kd-tree可以在$O(\log(n))$的时间复杂度下，找到距离点$P'(x,y)$最接近的元素，因此效率非常高。

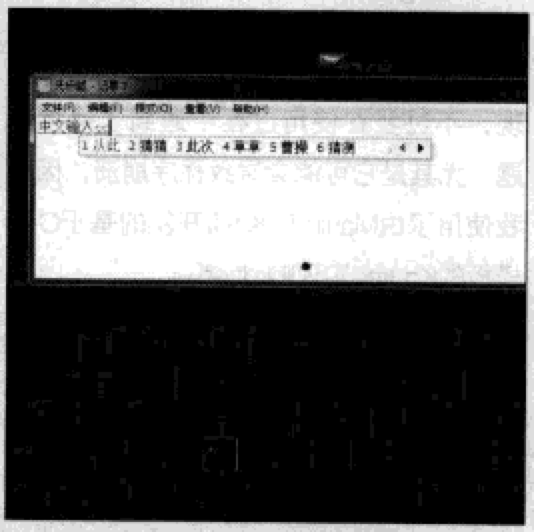


图33 本制作可以很好地使用中文输入法

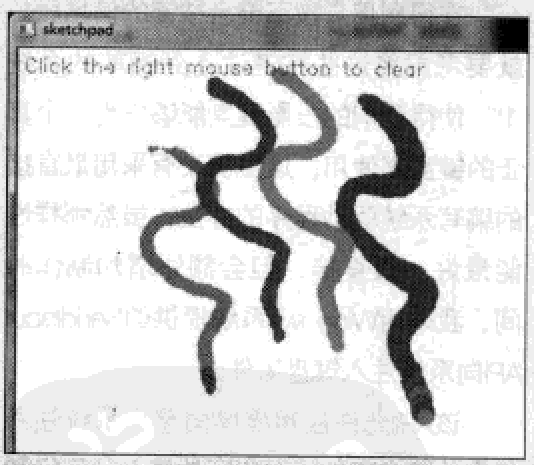


图34 本制作的另一应用——多点绘图板

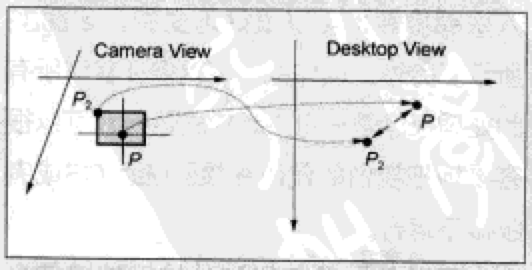


图36 将兴趣点和兴趣区域边缘一点分别进行测距求解坐标，并以物理坐标点之间的距离估算“压力”

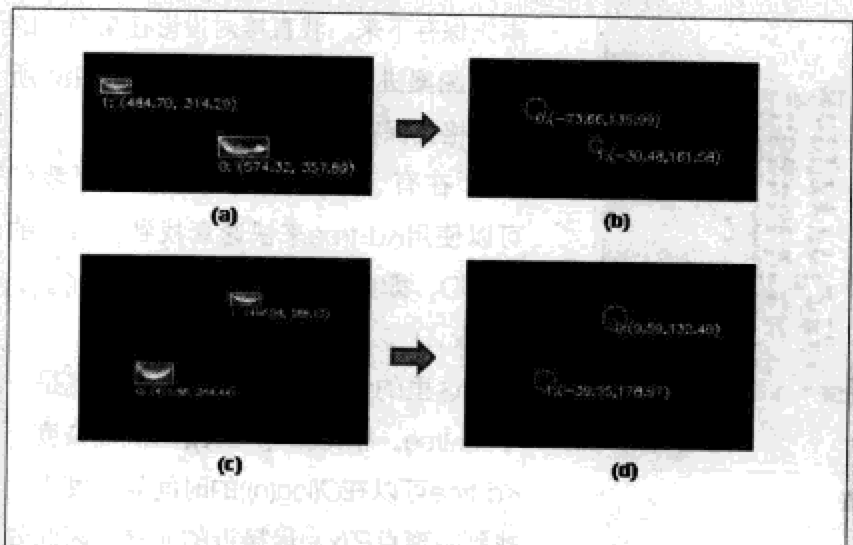


图35 通过兴趣点区域面积估算“压力”

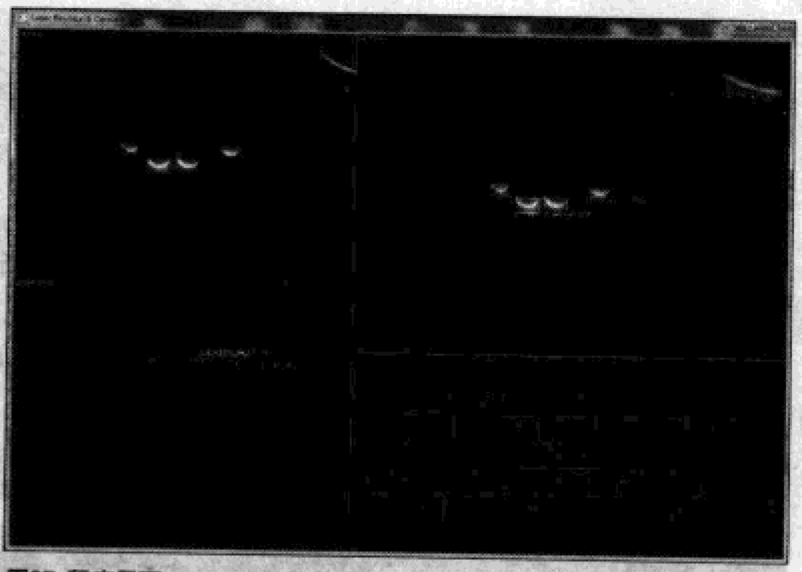


图37 程序界面

目前OpenCV中提供了Kd-tree的实现，不过我在使用过程中遇到了诸多问题，尤其是它可能会导致程序崩溃，因此我使用了由Martin F. Krafft开发的基于C++模板的Kd-tree实现libkdtree++。

得到键盘图案坐标的另一个好处是可以在PC上重新绘制出一个软键盘，用于提示当前“按下”的按键，提高使用体验，如图32所示。

键盘事件模拟注入

在得到用户按下键盘按键的信息后，就要考虑将这些按键注入到当前的系统中，使得我们的投影键盘能够作为一个真正的键盘来使用。这里我没有采用最直接的编写系统驱动程序的办法，虽然那样性能最好、最直接，但会额外增加制作时间。我采用Windows系统提供的SendInput API向系统注入键盘事件。

该API允许应用程序向整个系统注入任意的键盘事件，在实际效果上，已经和编写驱动程序的效果没有区别，像系统输入法等特性也可以很好地支持，如图33所示。另外，这样做也可以保证我们所有的处理程序都在用户态模式运行，可以很容易地把我们的代码移植到Mac OS或者Linux下运行。

不过前面我们得到的按下按键信息还不能直接注入到系统，还需要额外处理如下两件逻辑：模拟组合键、模拟连发事件。

对于组合键的模拟其实比较容易，一方面我们的设计可以保证多按键同时输入，对于Ctrl+C这样的组合键，不需要做额外处理，只要将当前的实际按键传输给OS即可。而对于键盘的功能键，比如Fn+F1这种特殊用途的按键，就需要编写程序特殊实现。

对于连发事件，OS就没有提供什么特殊帮助了，需要我们自己来模拟。

检测手指对桌面的压力与多点触摸板应用

在本制作的介绍视频中，我演示了本制作可以检测出手指对桌面的“压力”，从而在绘图板应用中能够产生不同粗细画笔的应用，如图34所示。

在图34中，可以发现绘制的线条的粗细不是固定的，线条的粗细是正是通过估算手指对桌面的“压力”决定的。

在前文原理介绍中已经知道，我们无法真正得到手指对桌面的压力，一切的信息都是通过摄像头的画面捕捉得来的。这里估算的压力，是通过先前兴趣点提取阶段计算出的光斑面积得出的，如图35所示。

如图35（b）所示，程序使用了不同直径的圆圈表示两个投影点对应手指的不同“压力”。而参考它们所对应的兴趣点尺寸（a）可以发现，面积比较大的兴趣点区域，往往也被认为“压力”比较大（注意两个画面是上下颠倒关系）。

这样的估算其实也有一定的现实依据，因为当手指紧压桌面时候，指尖反射激光的面积会变大。不过直接使用面积大小作为压力大小就会出现问题。就如图35（c）所示，从兴趣点面积看，画面下侧的兴趣点面积显然比上边的大很多。不过这未必是因为对应的一个手指用力压着桌面而另一个没有用力造成的。大家都知道按照投影变换，距离镜头比较远的物体就算尺寸相同，也会显得比较小。在这里两个兴趣点也是同样的情况，所设计的算法需要考虑到这个问题，得到尽可能真实的“压力”估算，本算法最终估算的两者“压力”几乎一样，如图35（d）所示。

这里采用的手段很简单，因为我们可以通过三角测距原则计算出画面中任意点的真实物理坐标，因此可以摆脱投影变换的干扰。具体做法是除了每个兴趣点中心区域求解对应的物理坐标$P(x,y)$之外，我们对兴趣区域边框上的某一个点也求出它的真实坐标$P_2(x,y)$。由于$P'(x,y)$和$P_2(x,y)$反应了真实世界的两点坐标，用它们之间的距离就可以比较真实地估算出手指的“压力”，如图36所示。

程序总体界面和完成图

完成了上述几个核心功能后，我用OpenCV的绘图功能做了一个简易的程序界面，前面提到的每个处理状态都会实时在界面中展现，如图37所示。制作就此大功告成！实际应用时的场景如图38所示。

图38 实际应用时的场景

参考文献

[1] RGB laser projector -- 0,5W
http://www.edaboard.com/thread230353.html

[2] 自制低成本3D激光扫描测距仪(3D激光雷达)，第一部分
http://www.csksoft.net/blog/post/lowcost_3d_laser_ranger_1.html

[3] short for k-dimensional tree
http://en.wikipedia.org/wiki/K-d_tree

[4] Multi-Touch Technologies, NUI Group Authors
http://nuicode.com/attachments/download/115/Multi-Touch_Technologies_v1.01.pdf

[5] Tacchi is SigMusic's 46" fully multitouch table.
http://www.acm.uiuc.edu/sigmusic/tacchi.html

[6] OpenCV (Open Source Computer Vision) is a library of programming functions for real time computer vision.
http://opencv.org/

[7] Camera Calibration Toolbox for Matlab
http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/

[8] Digital Image Processing, Second Edition, ISBN: 0-201-18075-8

[9] libkdtree++ is an STL-like C++ template container implementation of k-dimensional space sorting, using a kd-tree
http://libkdtree.alioth.debian.org/

[10] SendInput Win32 API
http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms646310(v=vs.85).aspx

讨论和下一步工作

成本分析

本次制作的成本还是比较低廉的，所有用到的材料和大致价格如表2所示，总成本在120元左右，相比市场上销售的成品而言，这样的成本是非常有优势的。

表2 制作所用的材料和大致价格

材料	参考价格（元）
摄像头	30
键盘图案激光发射模块	45
红外一字线激光器	30
红外带通滤光片	15
其他电子元件	3
外壳和木板	5
总计	128

性能评价

虽然制作成本低廉，但得益于在算法上的优势，本激光投影键盘的性能并不差。我并没有用过市场上销售的激光投影键盘产品，因此无法与它们做出比较，这里就单独按照我自己的使用感受做出评价。

得益于测距算法，该激光键盘可以识别出0.1mm的细微手指移动，并且通过校正可以达到2mm的最大误差水平。另外理论上通过视觉定位算法，本制作可以支持任意多个按键同时输入。而在输入响应速度上，由于采用的USB摄像头是30帧/s的，所以本键盘的最快响应频率就是30Hz，这虽然不敌传统键盘100Hz以上的速度，但日常使用是足够了。

不过由于不是实体键盘，无法提供物理反馈，因此无法进行盲打，输入速度也不够快。这点我相信市售产品也有同样的问题。就我们这个DIY作品来说，相信它应该是一个成功的作品。

表3 自制激光投影键盘的性能

性能指标	描述
反应速度	30Hz
最多同时输入的按键（多点触摸点数）	无穷多（软件目前限制在10点）
分辨率	0.1mm
最大测距误差	2mm
传输协议	USB

下一步工作

虽然本制作已经圆满达到当初的设计要求，不过还有不少可以改善的地方。这里我就当是抛砖引玉给大家一个借鉴，欢迎大家在此基础上做出更多的扩展。

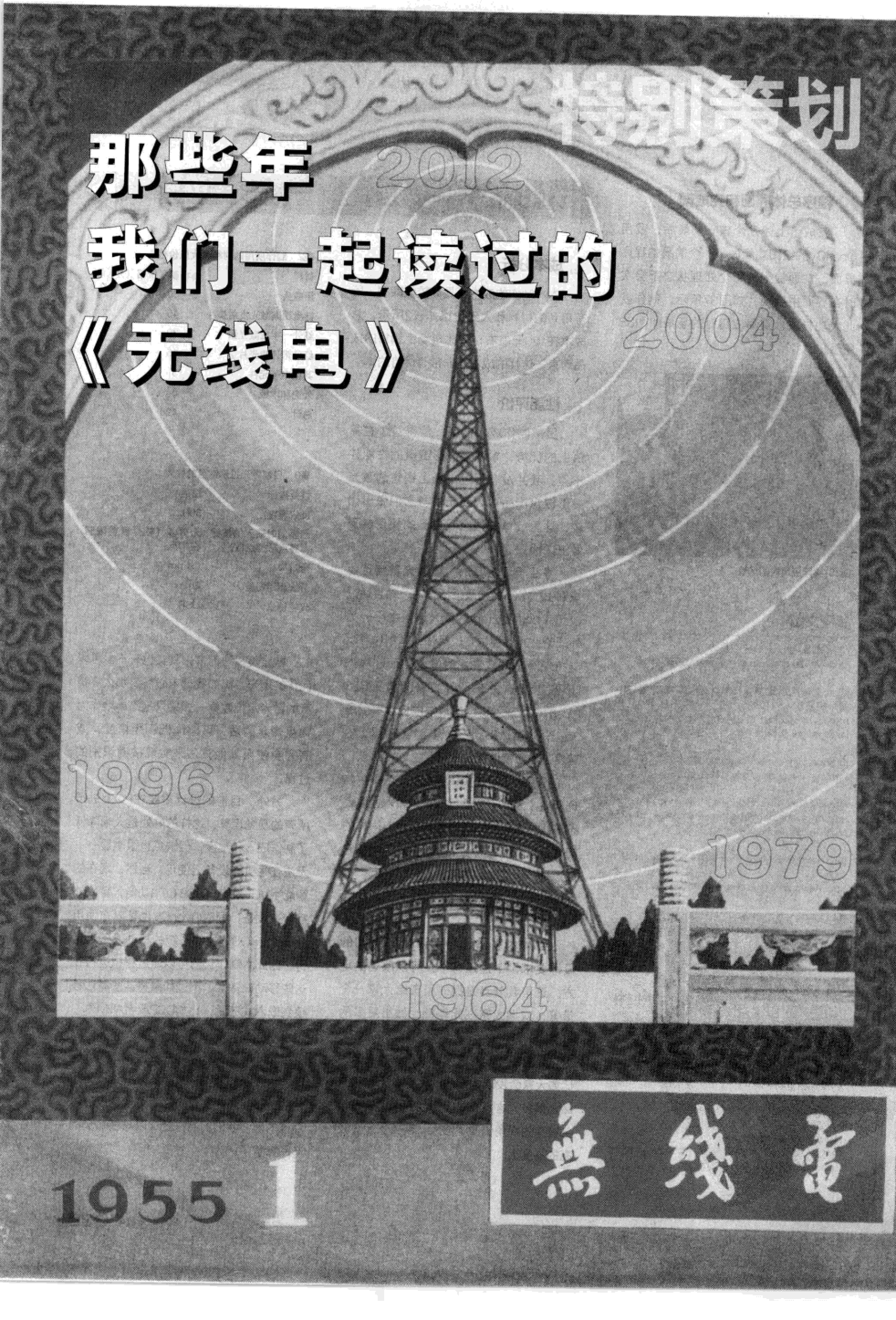
装置尺寸就有很多可以改进的余地，比如大家会发现本制作的体积要比市售产品大很多，这主要是因为我们采用的摄像头镜头的视角仍旧不够大，需要安装在较高的高度上。

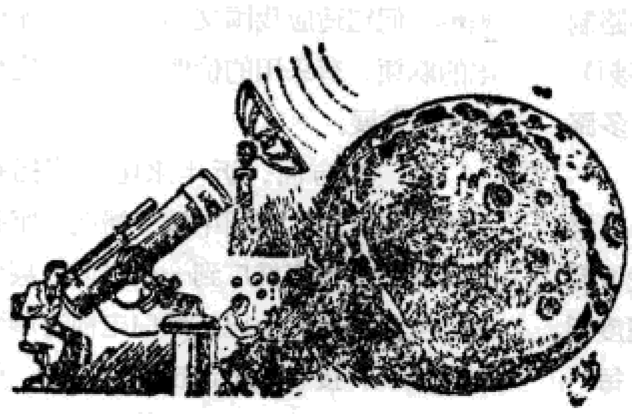
就定位算法而言，其实也有不少可以优化的地方，比如我们未必需要那么高精度的激光定位数据，如果只是简单地作为键盘输入的话，可以降低测距精度，或者完全使用其他算法来实现按键识别的过程。

另外，目前的设计需要在PC上进行所有的视觉运算，这样的好处是大幅降低了制作成本和难度，但缺点也很明显——无法在手机等设备上使用。当然，现在的智能手机一般带有USB OTG功能，可以外接USB设备，同时OpenCV也可以在使用Android、iOS等操作系统的移动设备上运行，因此本制作仍旧可以通过移植运行在这些移动设备上。不过如果将这些算法移植到嵌入式芯片，比如DSP或者ARM内，则可以完全摆脱对PC的依赖，键盘自身就可处理所有视觉计算并直接输出按键事件，也可以加装Wi-Fi或者蓝牙，做成无线传输。其实这并不是个遥不可及的改进，那样的话，我们的制作就足以与Celluon的产品竞争了。

特别策划

那些年 我们一起读过的《无线电》





本文摘编自1955年第1期《无线电》创刊号（总第1期）

無綫電技術發展的展望

郵電部設計局副局長　盧宗澄

无线电诞生60年以来，从笨重的火花式、电弧式、高频发电机式发报机起，经过无数科学家技术工作者的劳动，获得了多种多样的改进。

无线电技术的迅速发展，使得无线电方面的建设不受地理条件的严格限制，建设的费用和时间也大大节省，因此无线电不仅逐步担任了电报、电话的陆上通信和广播业务，还成为行动业务联系的重要工具，对海上与空中航行的安全起了极大的保证作用，同时也使越洋通信变成事实。无线电话在最近二三十年来，一直为国际电话通信的支柱。

无线电技术的继续发展，使无线电的应用范围日益广泛。在工业上，如冶金工业的冶炼和精炼、金属的熔接，都利用了高频感应涡流作用所生的电热，机械制造中的表面淬火，是利用高频的集肤作用，感应电热，木材工业的烘干和粘合，是利用高频介质电热的作用。此外，如食品工业上的保藏和医药制造上的消毒，也都利用了无线电技术的特殊作用，找到新的生产方法来提高产品的质量和减低成本。

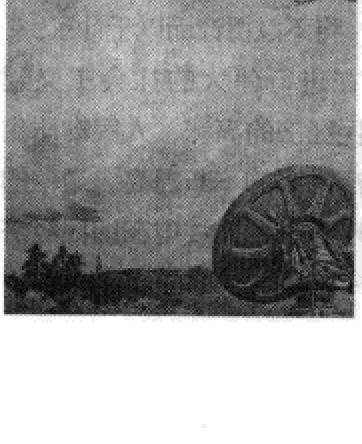
电子显微镜的出世，使得物理化学和生物学方面的研究范围更为广阔，由于它能显示金属的内部结构状况，使冶金工业又得到进一步的发展。它又能发现极为渺小的微菌和有可能研究微菌的内部机构，使医疗方法有可能更为完善。

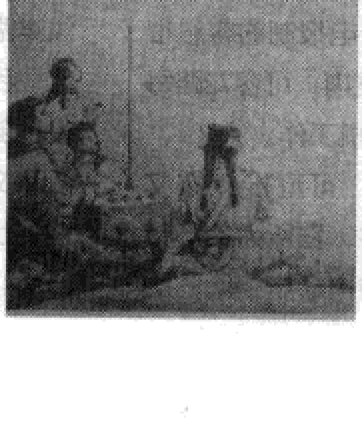
原子能用于和平事业，无疑将为人类谋取最大的幸福。原子能的获得是由于原子核的分裂，分裂原子核靠原子核轰击器，而它的制造就是利用无线电里的强力高频振荡器的原理。

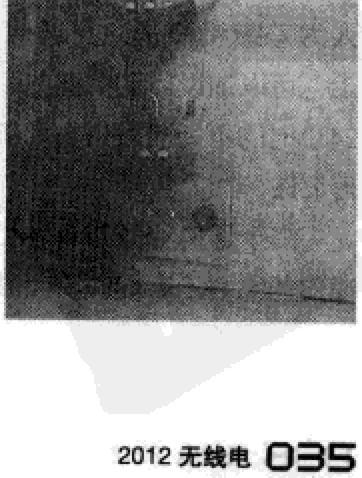
使用无线电微波的探测术（雷达），借导体和某些物体在微波波段内能够反射电磁波的作用，把短促的脉冲电波经定向天线发射出去，再用定向接收天线将反射回来的部分电能接收下来，使反射物体的行动显现在一个阴极示波器上，用以探寻天空或海上远处的目标，它除了在军事方面用于搜索敌人飞机和舰艇，或用于控制炮火瞄准目标，并且还用于飞机和船舶的导航。

同样原理，一万兆周的无线电波，遇到雨水、雪花或冰雹，有反射作用，使无线电可以用来探测密云、暴雨、雪花和冰雹。大气对流层对微波传播的吸收和散射程度，会改变电波传播路径，因此经常观测电波的变化，可以了解大气变化的情况。在这种原理基础上发展出来的无线电气象学，大大地增加了天气预测的精确性。

微波技术的进步使我们已能利用高效的定向天线和灵敏的收信机来接收与天空中星球（如太阳、恒星、行星）的辐射有关的无线电噪声。电子仪器“无







线电望远镜”，将使人类对于宇宙的知识比过去用光学仪器观测有更进一步的开展。无线电技术的不断发展加上原子能喷气推进技术的发展，会使人类在星球间旅行的愿望更早实现。

应用无线电脉冲技术的电子计算机，可以在很短的时间内精确地解决许多复杂而困难的数学问题，使科学工作者和研究者可以节省很多的时间和精力。

目前的自动电话靠机械动作来接通，接触点容易磨损，产生噪声，影响通话质量，且机械动作较慢，接通率不高。随着电子计算技术的发展，将来自动电话很有可能电子化，用电子交换器代替机械动作。它既可提高接通速度，免除噪声，不但提高了质量，还简化了维护手续。

电子计算技术的发展前途是很广阔的，将来也许会有更繁复、微妙的电子计算器，可以分析宇宙间错综复杂的变化现象而得到有关的自然法则，从而作出极为准确的预测，便于预防自然灾害。

随着无线电技术的更进一步发展，精确的电子诊断和有特效的电子医疗器械和方法，必将由临床经验丰富的、学识渊博的医学专家和电子工程师们合作钻研，而得到新的成就，大大地促进人类的健康和幸福。

但是无线电技术在各种新领域的发展，并不妨碍它在通信和广播方面的更大进步，无线电报已经逐渐地采用自动化和机械化通信方式。长距离通信业务，大都是用移频制自动印字的电传机收报，并可使用户直接通信，它减少了人为差错和稽延。在通信困难的电路上，可以加设自动中继站，来保证日夜24小时的不间断通信，增加无线电路的可靠性。

由于通信业务的发展和用户间直接通信的需要不断增长，大城市间的长途无线电报电路，必将采用更多的多路制通信，将来可能用单边带调频（移频）制的频率区分和时间区分的复合多路制。

在频率区分多路制里，许多电路相互隔开，各占一低频频道，对载波起调制作用。它的优点是与单路高速度相比，在同样的总传递能力情况下，每一电路的传递速度可以比较低，因此，免除了高速传递时由于无线电波多路径传播容易引起的信号迟滞变形现象。

时间区分多路制是在用电传机通信每路所占频带较窄的情形下，上述低频频道每道可以包括几路的信号，把每路信号的短促脉冲，按一定间隔顺序安插，而成为占有一个频道的脉冲组。这样，更增加了传递容量，提高了机件的利用率。分配器的电传机发出的直流脉冲，控制着每一频道的音频振荡器，产生移频调制，再将这已被调频的音频用调幅方式去调制单边带的无线电发信机。这样利用了移频制可以增加信号和噪声比的优点，和单边带制结合起来，更可节省发信电力并增加通信的可靠性。当然不一定限用单边带，不过用了单边带制，优点很多，不仅可以减少谐波和相互调变的变形影响，还可以将拥挤不堪的高频通信频带利用得更加充分。

像这种固定城市间的通信，最好利用高增益的定向天线，不但可以节省发信电力，并可减少空间干扰，相对地加强了信号，抑制住噪声。为了增加通信的可靠性，适当采用空间分集收信制是避免信号衰落现象的有效办法。

这种复合多路无线电报制的容量很大，在6千周的频带宽度内，可容72路每分钟60字组速度的电传机工作。

无线电传真电路，可直接传递文字、图案，报表等文件，它所占的频带较宽，约等于一个无线电话电路所占的频带，但它适应我国文字的特点，无译电的麻烦，有采用的价值，将来一定有很大的发展。

在广播方面，近年来电视广播有了极大的发展。利用中继传播站，服务面可从一个城市推广到一个区域，甚至达到全国。技术上已从黑白电视进展到五彩电视。接收机制造技术的改进，使成本减低，因此，电视的使用也一天天普遍。国外的电视工程师们，又利用磁性带分轨同时记录音频和视频信号的办法，节省了制片方面的许多繁复手续，可以使电视节目立即播送，对于有时间性的节目更为重要。磁性带经过去磁手续，还可以重复使用，大大地减低了电视的成本。

微波无线电接力制对全国性和区域性的电视广播网（如多路制长途电话电报网）方面的应用，也日渐广泛。微波无线电的电波传播很少受大气变化的影响，在平坦地区两个邻近接力站间距离可达60公里，既不受湖泊河流或海峡的阻隔，又可充分利用高山来增加可靠通信距离。接力站还可采用无人管理的遥控制，由中心站来遥控管理。每一个中心站，能管理前后各5个接力站。例如在2000公里的微波电路上，仅需40个左右的接力站，而其中需要有人经常维护的中心站不过3～4个。因此它的建设和维护费用比较用同轴电缆要节省得多。

微波无线电还适宜于接力广播，多路制的长途电话和电报通信。由于微波技术的不断进步，很可能使用比3000～5000兆周更高的频率，以便增加电路数量和增进天线的效能。那时，干线电路容量，将不以百计而以千计了。

我国正在进行伟大的社会主义建设，随着国民经济的高涨、人民物质生活和文化生活水平的不断提高，通信的需要也将不断增长，无线电在国民经济方面必将发挥它日益重要的作用。

陈平（BA1HAM）

读《无线电技术发展的展望》有感

从《无线电》杂志1955年第1期刊登“无线电技术发展的展望”算起，时间已过去了半个多世纪。今天回顾我国无线电界老前辈写的这篇文章，别有一番风味。

这篇文章一开始，就用简洁的语言把我们带回了解放初期的文化氛围。当时随处可见的一条从前苏联学习过来的口号是“知识就是力量”。中国的劳动人民刚刚从旧社会的剥削下解放出来，劳动光荣、有文化光荣，各行各业都提倡学习文化和技术，把它们作为建设人们所憧憬的未来社会的工具。《无线电》杂志正是在这种背景下应运而生的普及刊物。“无线电技术发展的展望”以准确的专业基础、宽阔的视角、生动简练的手笔，深入浅出地描述了当时无线电前沿应用的方方面面。

“无线电技术发展的展望”对当时无线电在通信、雷达探测、工业、科学研究、医学等各方面的发展方向和前景做了全面的展望。今天回想起来，这些展望十分准确，都早已得到了实现。其中一些技术至今还在广泛应用，例如高频加热、军用和气象雷达等。

当初无线电电子学中的某些部分不断自我完善，它们其中一些的项目并不依赖于发射和接收无线电波，先后逐渐脱离了无线电技术这个母体，变成了新的独立技术领域，如有线多路载波通信、数字技术、电子计算机等，都已成长为新的学科，从无线电派生出来的光通信也成为了全新的通信主力技术。而这些从无线电生长起来的新技术又反过来对无线电技术产生了重要的影响，尤其是在传统的无线电通信技术方面。

五十多年前跨山涉水的远距离通信建设成本还是社会亟待解决的一大问题，因此无线电通信的实现目标在很大程度上是通得越远越好。先是短波无线电通信和有线多路载波通信，随着元器件工作频率的提高又出现了容量大得多、可靠性好得多的微波接力通信系统，后来又出现了维护比微波接力系统容易的卫星通信系统。

无线电技术的这些进步不但大大降低了信息传输的成本，也刺激了越来越大的对通信容量的需求，这就要求使用更多的无线电频率。然而自然界可用的无线电频率是有限的，某些无线电频段的使用几乎已经达到饱和。好在不占用无线电频谱的光通信新技术已经发展起来，它以宽带大容量通信的成本优势和可靠性优势越来越多地替代着很多传统的无线电通信手段，进入千家万户的光纤组成了功能强大的综合数字业务网络，使得人们坐在家里看高清电视、PC网聊、打越洋电话不再需要通过无线电。除了应急备份通信、海上和光纤不达的偏远角落的通信、空间通信等特殊情况以外，无线电不再是包打远程通信的主力。

这种“技术分工”给无线电通信留下的新任务是解决移动着的人和物与固定网络之间的宽带通信，不但要通过无线电把世界上所有的人无时无刻地和整个网络连成一体，而且要通过无线电把无数个物体都联络在一起，让与生活、生产、军事有关的所有物品都能纳入自动的科学管理。这样，需要通信的总信息量会极大膨胀，要实现这样的目标，不论怎样去开发更高的新频段，都必须把每一个系统的通信距离控制在尽量短的范围内，才能使无线电频率在更多的小区成之间得到重复利用。也就是说，无线电技术所要解决的问题从五十年前的通得越远越好，变成了通得越节约频谱越好。

因此，无线电和其他领域一样，技术的飞速发展大大刺激了对其所依赖的频谱资源的需求，资源变得紧缺，也面临着“绿色环保”和“可持续发展”的重任。

今天重读五十多年前的“无线电技术发展的展望”，不禁联想到我国五十多年来包括无线电技术在内的方方面面的变化，也忘不了人民邮电出版社在那个年代出版了大量的无线电技术普及书籍，忘不了冯报本、龚淡樵、毛瑞年等一批优秀的无线电科普作家，忘不了给《无线电》杂志撰写了非常专业而又非常深入浅出的文章的无线电专家，他们一起点燃了无数青少年对现代无线电科技的热情，传播了真诚地追求科学真理的朴实品质。直到今天，很多老读者每当谈起这些文章、书刊，无不称赞它们为推动我国的科学技术普及事业立下的不可磨灭的功勋。

希望今天有更多的无线电专家利用他们生动、丰富的实践经验为《无线电》撰写能反映今天的无线电前沿技术的科普文章。

◇林葆浏

本文刊载于1955年第1期《无线电》创刊号（总第1期）

矿石收音机怎样接收广播

水的波动

静静的湖水，假使投入一块石头，水面上立刻就播出一圈一圈的水波来，这是水的波动现象（见图1）。我们可以看出远处水面上的小树叶也跟着摇荡起来，这就是说石头投进水时的动能，藉水波传播到远方去，小树叶因接受了水波带来的能力摇荡起来。当然离投石头的地方越远，摇荡的程度越弱。

空气的波动

声音是由物体振动而来的，因为物体振动后，它四周的空气也随着起了疏密的变化，耳朵里的鼓膜也起了同样的振动，我们就能听到声音（见图2）。但是声音不能传播得很远，要想完成这个目的，就要靠无线电波。

无线电波

无线电波也叫做电磁波，就是由发射机发出高频率的电流流向天线，射入天空，和石头投入水中激起了水波相似，在天线附近的空间激起了电场和磁场的变化，由近到远地向天空传播，这时候我们说天线向空中辐射了电能。电磁波就是这样产生的（见图3）。天线里电流的频率愈高，电场和磁场的变化愈快，辐射电能愈有效，所以有用的电磁波，它的频率是非常高的，在广播波段里是从每秒钟535千周到1605千周，它的速率和光波一样快，每秒钟是3×10^8公尺，每秒钟能绕地球赤道七周半。

在图4里，我们用一条曲线代表电磁波在空中的变化情况，A到B是一周，AB长度或者两个峰顶间的距离就叫做波长，每秒钟振动的次数就是频率，根据这些关系，我们可以换算出波长和频率来，即

$$波长=\frac{速率（公尺/秒）}{频率（周/秒）}$$

$$频率=\frac{速率（公尺/秒）}{波长（公尺）}$$

（注：1千周=1kHz，1公尺=1m；1984年国务院发布了《中华人民共和国法定计量单位》，“公尺”、“千周”是国家没有选定的非法定计量单位，在公文中不能使用。）

图1

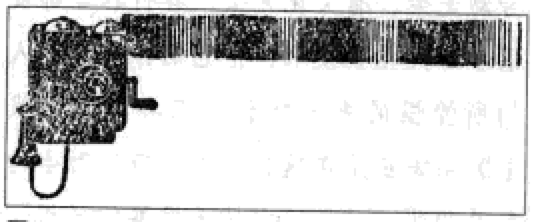


图2

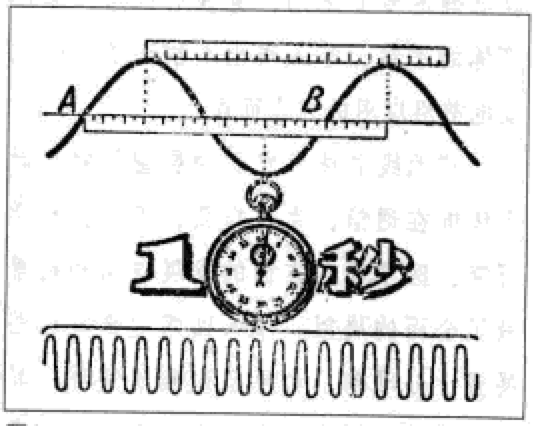


图4

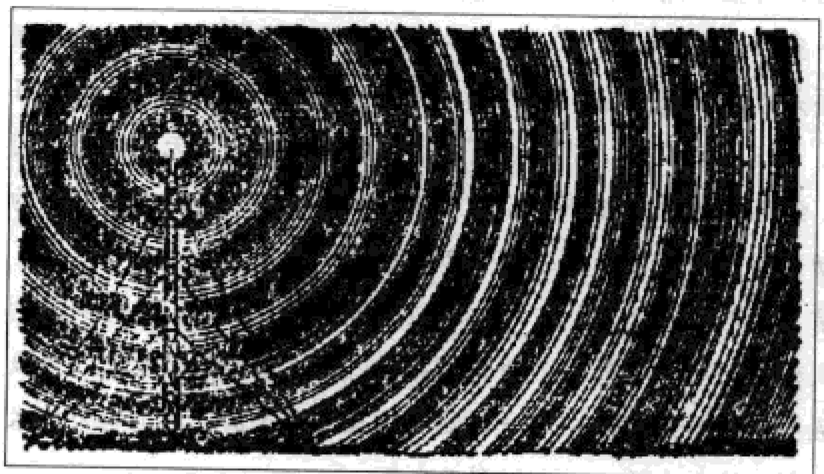


图3

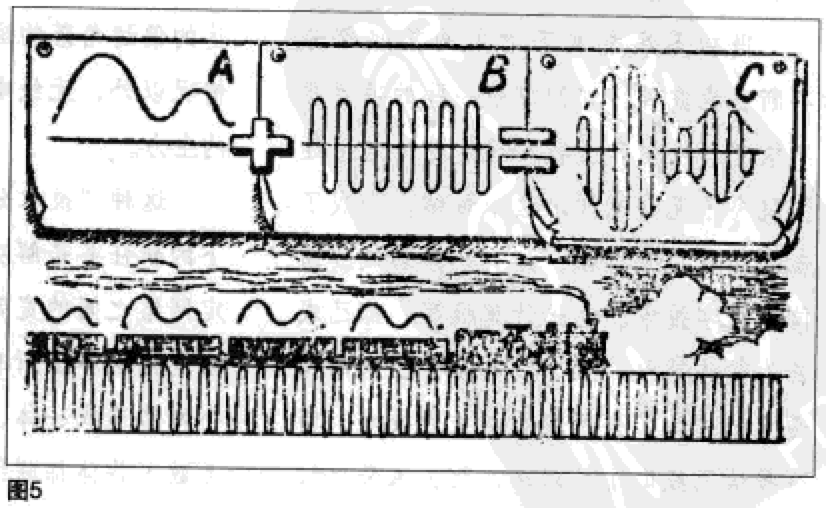


图5

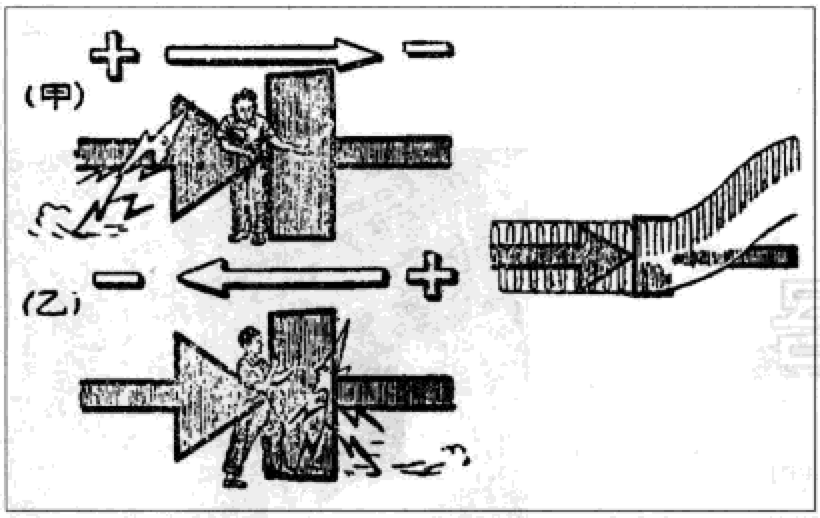


图6

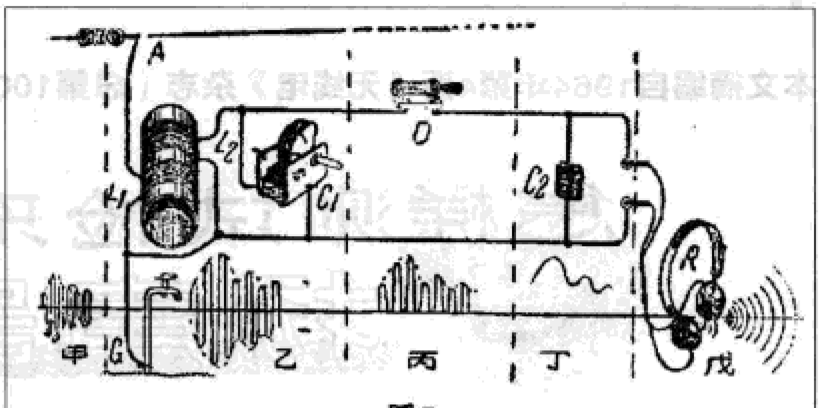


圖7
A是天綫，L_1、L_2是綫圈，C_1是可變電容器，C_2是固定電容器，D是礦石檢波器，R是聽筒，G是地綫。

图7

例如600千周是多少公尺的波长呢？

$$波长=\frac{3\times 100\ 000\ 000}{600\ 000}$$

$$=\frac{3\times 1000}{6}=500公尺$$

所以频率越高波长越短，频率越低波长越长。

成音频率

语言和音乐的频率是很低的，语言的频率每秒钟300～2700周，音乐的频率每秒钟50～15000周，这些低频率叫做成音频率。成音频率的电磁波是不能发射到天空去的。

调幅和检波

要想将成音频率传递到远方去，必须利用上面所说的高频率作为载波，就是成音频率放在高频率（载波）上面，藉高频率调幅后的调幅波的发射，将成音频率传输到远方去，这个作用叫做调幅，调幅波就是高频率随着成音频率变化的结果，如图5所示。图中A是成音频率，B是高频率载波，C是调幅波。现在把成音频率当作一批货物，高频率当作一列火车，要想将这批货物从甲地运到乙地去，必须将货物装上火车，通过火车运到目的地去，到了目的地后再从列车上卸下货物来，火车装货就好像“调幅”，火车卸货就好像是“检波”。简单说来，检波作用就是从调幅波中检出成音频率来，经过检波后我们就可以从扬声器里或者听筒里听到悦耳的音乐和语言来。

矿石检波器

检波的方法很多，最简便的就是利用矿石。矿石的种类很多，如硫化铅矿、方铅矿、红亚铅矿、黄铜矿和自然铜等几种。这些矿石都具有检波作用。矿石为什么会检波？因为矿石对于电有一种特殊的性质，对于某一流向的电流所呈的阻力很小，但对于反向的电流所呈的阻力极大。也就是说某一面矿石当加上正电压时就有电流通过，加上负电压时就没有电流通过。如图6（甲）所示，矿石的左边加上正电压时就有电流向箭头方向通过，可是当它左边加上负电压时（见图6〈乙〉），就没有电流通过。也就是说高频率电流经过矿石后只有单向电流了。图7是用矿石作为检波的最简单的收音回路。当高频率调幅波（甲）从天线A经过线圈L1到地线G。同时线圈L2就受到了感应作用，经过可变电容器C1调整，由L2、C1组成的调谐槽路的本身频率与外来某一电台的频率发生谐振的时候，L2、C1回路对于所发生谐振的某电台的高频率调幅波的电流，阻力很小，而对其他电台的频率不发生谐振，阻力极大，就是说L2和C1具有选择频率的作用，C1是可变的，可以组成许许多多本身频率，图7乙所示就是经L2、C1和甲发生谐振后，电压加一次放大，经过矿石检波器D，正电压的高频率调幅波可以通过D，图7丙只余上面部分通过，结果得到了成音频率如图7丁所示，因此听筒R就可以听到声音了。

Tips

近年来，DSP收音机成为广播市场上的主流，那么什么是DSP收音机呢？

我们知道，无论是早年的矿石收音机还是之前传统的超外差式收音机，从天线接收到的广播信号到我们从输出设备中收听到的音频信号，都是由模拟电路来处理的，这个过程中的信号都是以“模拟”的性质存在的。

如果我们对接收到的模拟广播信号进行数字化转换，然后通过电路对数字化的信号进行处理，如FM/AM中频调制信号解调、立体声信号解码和输出数字音频信号等环节，然后再将数字信号转换为我们可以收听的模拟信号，即采用数字信号处理(DSP)技术，那么这就是DSP收音机了。

本文摘编自1964年第4期《无线电》杂志（总第100期）

◇张启海

怎样测试检验扬声器

扬声器是收音机、扩音机和电视机等各种仪器设备的放声系统中的主要元件。这些设备发音音质的好坏，扬声器起着重要的作用。怎样才能知道扬声器的质量好坏呢？除去实地作主观试听外，还要用一套完备的仪器和设备，经过细致准确的测试后，才能给出确切的答案。扬声器的各项测试过程是比较复杂的。这里只能简要地介绍一下测试的方法和有关的知识。

扬声器的质量好坏可以从3方面来检查，下面将逐一介绍。

一、外观检查

对于被测试的扬声器，首先要经过外观检查。外观合格的扬声器应当是：商标完整，涂复均匀无损伤，铆接牢固，磁体完整，纸盆和定心支片压制均匀，无损伤，胶粘牢固，压条及防尘罩整洁，胶粘牢固，盆架及上、下夹板加工良好、无毛刺等。

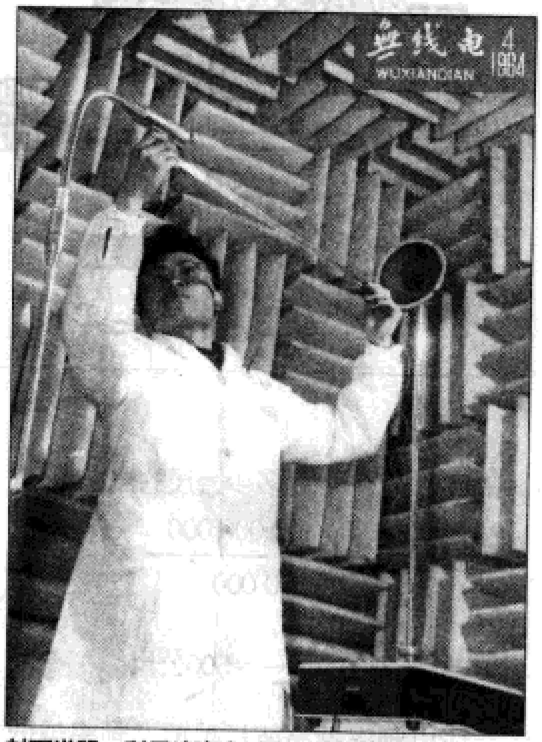
二、电气、电声性能测试

1. 纯音监听：在扬声器上加上与标称值功率相当的标称电压（根据标称功率和标称阻抗算出）的纯音频信号（见图1）。在规定的频率范围（对不同口径有不同规定，一般65mm口径扬声器规定为300～4000Hz）内来回变化频率，倾听是否夹杂有咔哒声。如分辨不出，不能肯定时，可将信号加大到150%标称电压来监听。如果听不到咔哒声，证明性能良好。否则即是该扬声器音圈装配不正或气隙内有杂物，不能使用。

2. 阻抗测量：测量阻抗有两种方法：即代替法和比较法。这里着重介绍代替法。

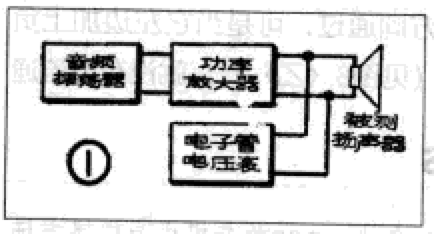
代替法测量电路见图2。把扬声器放在2m以内无反射物的地方。馈到扬声器上的信号电压应为相当于输入功率为0.1VA时的电压。对于口径在130～250mm的扬声器，测试信号频率选取400Hz，100mm以下的则选用1000Hz，这时电压表有一指示。然后将开关（K）扳到可变电阻箱的位置。调节可变电阻箱，使电压表指示等于前一指示值为止。这时可变电阻箱上的数值，就是扬声器的阻抗值。图中串联电阻R的数值应大于扬声器阻抗与信号源输出阻抗之和的3倍以上，以便于比较电表读数。电阻箱应是无感的。

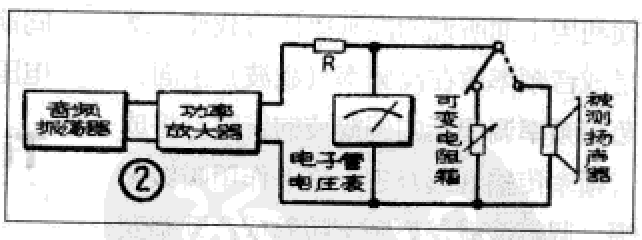
3. 谐振频率测量：测量谐振频率所要求的环境和测试信号，都和测量阻抗时相同，只是在测量电路上去掉了电阻箱，电子管电压表跨接到扬声器两端。测量时，改变音频振荡器的频率，同时注意电压表读数的变化。当电子管电压表指数最大时，振荡器调到的频率数，就是该扬声器的谐振频率。

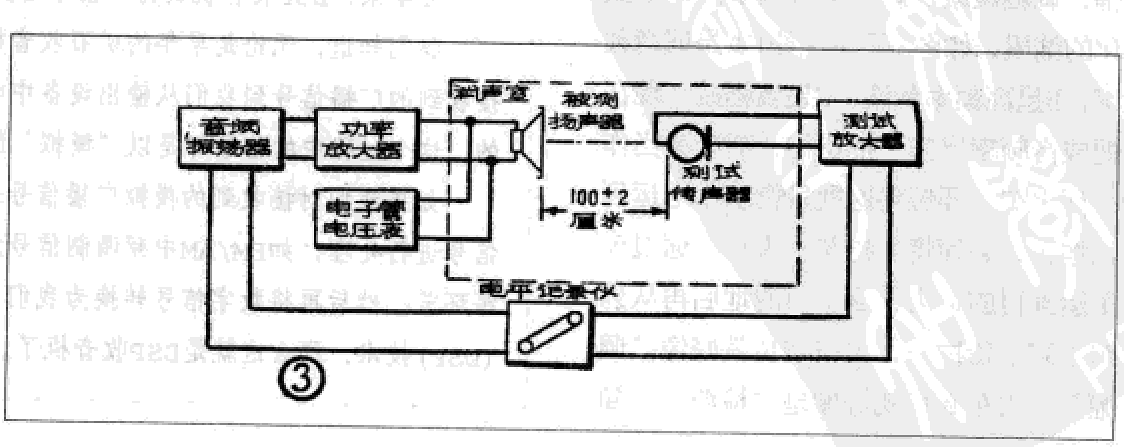


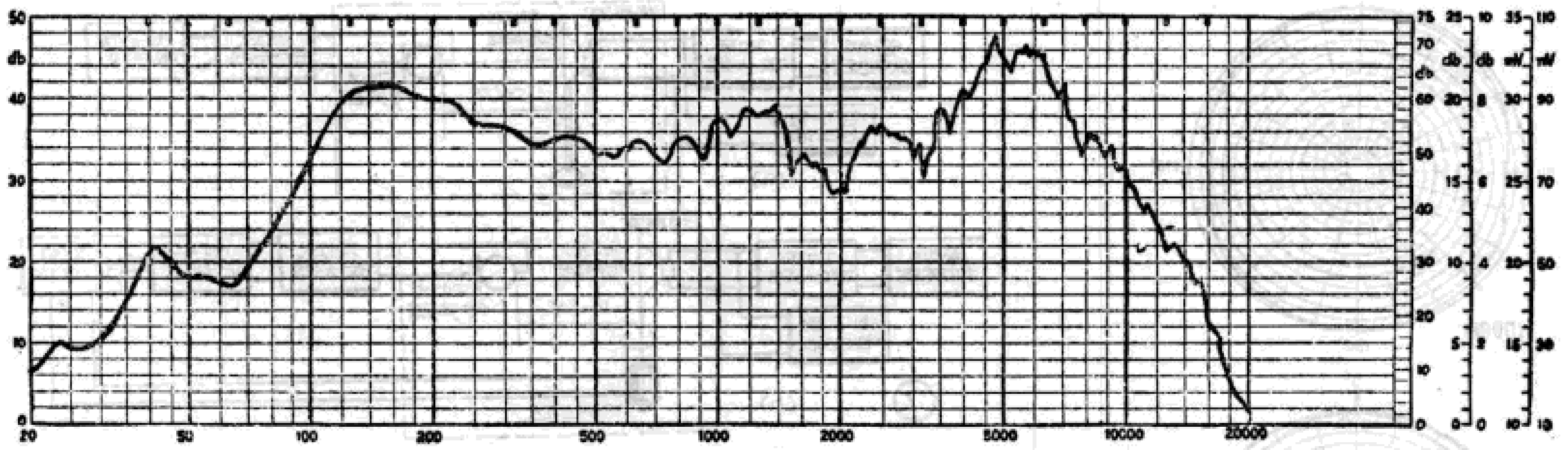
封面说明：利用消声室测量扬声器的特性

4. 频率响应曲线测量：把电压或电功率保持不变的测试信号送进扬声器，改变信号的频率，扬声器的声压或声强









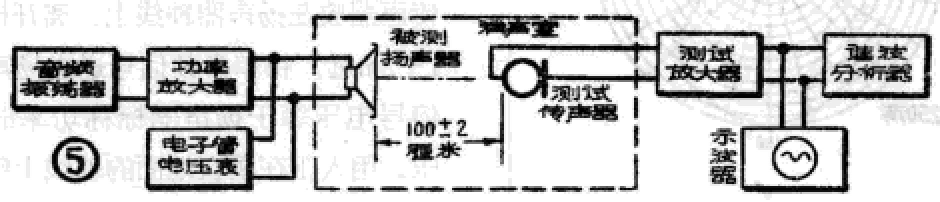
④

将随着变化，把这种变化情形描绘成曲线，就叫做扬声器的频率响应曲线。

测量方法是把被测扬声器安装在标准助声板上。在扬声器轴线上离开它1m远放一个测试用传声器（即通称的话筒）。按照图3电路接好全部测试仪器。馈送给扬声器以相当于输入功率0.1VA的信号电压。扬声器放出的声音送进传声器，又变为电信号，再经测试放大器放大后，送到自动电平记录仪，自动记录出该扬声器的频率响应曲线（如图4所示）。

频响曲线一般利用消声室测量。测量时扬声器和测试传声器放在消声室内（图3中的虚线方框表示消声室），离地面吸声材料高度应大于1m。其他测试仪器放在消声室旁边的一般测量室内，通过电缆来输送测试信号。消声室内四壁和天花板、地面都布满了吸声材料，如玻璃丝、棉花等所构成的凹凸面，布置形式很多，本期封面所示就是用吸声材料做的许多楔形体布置起来的。测量过程中消声室关闭，外界噪声被隔绝，不能进消声室，内壁对声音的反射也很小，这就使测试的完全是扬声器发出的声音，没有其他噪声和反射声干扰。

如果没有消声室，在露天室外也可进行测量，但必须满足下列条件测试结果才可靠，即：测试场地四周15m内无反射物，扬声器与测试传声器离地面高度不低于6m；环境噪声水平应在45dB以下，或至少低于声压水平30dB。



⑤

5. 谐波系数测量：测量谐波系数所需要的环境与测量频率响应曲线一样。测量线路见图5。把标称电压馈送到扬声器。在如前述规定的频率范围内使频率连续变化。电压保持恒定。观察示波器。如果发现在某一频率上波形有失真（即呈现非正弦形），即用谐波分析仪测量。先测量出基波的声压数，再测量出第二、第三……到第n次谐波的声压数。然后用下式计算出该频率时的谐波系数，即

$$K_f=\sqrt{\frac{P_2^2+P_3^2+P_4^2+\cdots+P_n^2}{P_1^2+P_2^2+P_3^2+P_4^2+\cdots+P_n^2}}\times 100\%$$

式中：P_1——基波的声压，

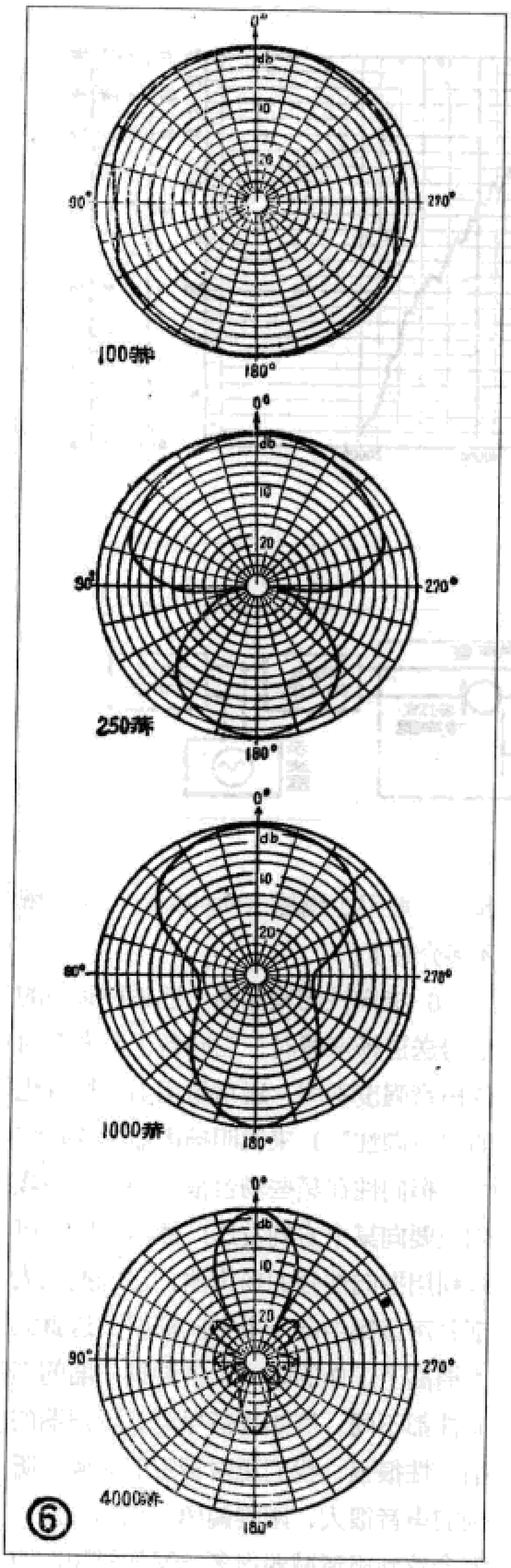
P_2、P_3……P_n——各次谐波的声压。

扬声器有谐波存在，声音将失真，音质有变化。除去谐波失真以外，还有互调失真和瞬态失真，对音质的影响也很大，粗浅地说，这是由于扬声器纸盆等声系统对不同音频的惯性不同而引起。一般很少测量这两种失真，这里就不多介绍了。

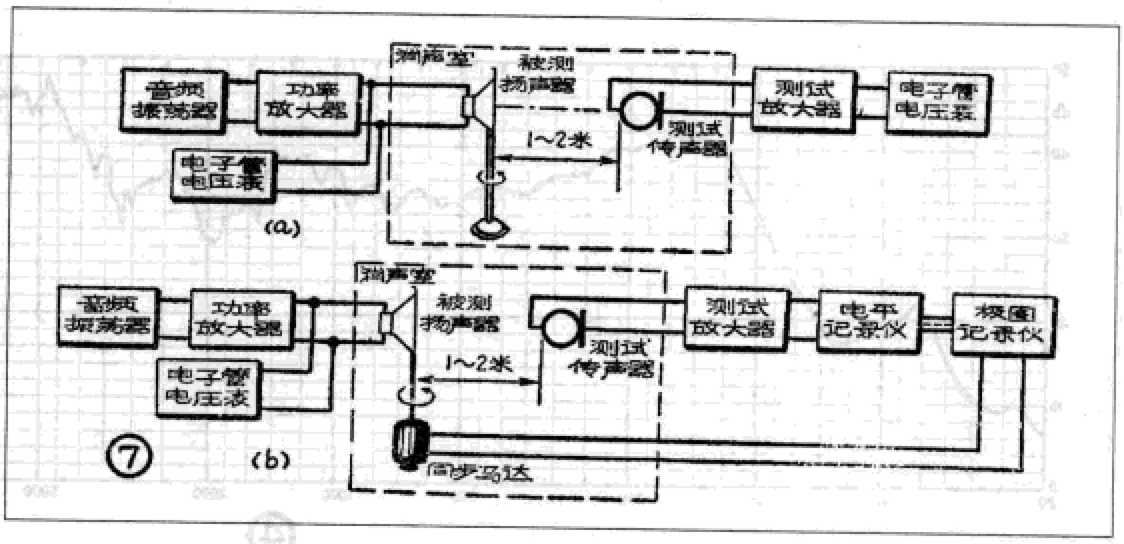
6. 指向性图案测量：把某种频率的信号送进扬声器时，它向各个方向辐射的声音强度不同。通常是用指向性（也叫“方向性”）来说明扬声器的这种特性。指向性在某些场合很有用，例如我们只要向某个方向发送广播声音时，可以利用指向性强的扬声器，它能把绝大部分声音集中向一个方向辐射，这就大大提高了工作的效率。各种扬声器的指向性都不同。例如高音号筒式扬声器的指向性很强，我们正对着它的时候，听到的声音很大，刚刚偏离一点角度时，就会感到声音减弱很多。又如常见的收音机上用的纸盆扬声器就不同了，我们在它四周听到的声音都差不多大，这说明它的指向性较弱。

此外，把不同频率的信号加给扬声器，它在各种频率时的指向性也不同：可能低频时指向性较弱，而高频时指向性就强（见图6）。

为了说明一个扬声器的指向性如



⑥



⑦

何，可以用直角坐标画曲线表示，就得到指向性曲线。更直观的表示法是用极坐标图来表示，就得到如图6所示的所谓“指向性图案”。

指向性图案的测量方法有两种：一种是人工转动扬声器进行测量，另一种是自动测量法。测量时对环境的要求和测量频率响应曲线时相同。

人工测量电路见图7（a）。测试传声器放在扬声器轴线上，离开扬声器1~2m远。将单音频信号送进扬声器。信号电压等于扬声器标称功率时的电压。用人工在垂直地面的轴线上单方向转动扬声器。以扬声器对准传声器时为零度。每次转动15°或30°，转360°后回到原位。每转一次，记一次电压表的读数。测量完毕就得到各个角度时的电压值（U_α）。把它们与零度时电压值（U_0）的比值分别用下式换算为分贝数（dB），即

$$dB=20\log U_\alpha/U_0$$

就可以得到各不同角度上的许多分贝数，在极坐标上得到许多点，把这些点连成曲线，就画出了指向性图案。

自动测量电路见图7（b）。在测试放大器后面连接自动电平记录仪，再通过软轴，连接上自动极图记录仪。然后通过软轴带动扬声器转动，或送出一遥控电信号使同步马达（电机）启动，从而带动扬声器转动（图中所示便是后一种方式）。测量之前先调整好扬声器的方向（扬声器对准传声器时为零度）。测量时，启动电平记录仪，打开极图记录仪开关，它上面的极坐标指向性图案记录圆盘和记录纸跟着转动起来，同时送出信号控制扬声器与它同步转动。这时从自动电平记录仪伸过来的记录笔尖就在极图记录纸上画出指向性图案。

三、可靠性试验

扬声器产品要经过不同运输工具运输，而且要在各种不同气候条件下使用，因此扬声器的质量好坏也需要从它耐受各种环境影响的能力方面进行检验，分别有：振动试验、高温试验、潮湿试验、低温试验、绝缘电阻试验、耐压试验、负荷试验以及冲击试验。

编后语

2011年，《无线电》杂志与美国业余音频出版社合作，开始出版“电声技术译丛”系列图书，《实用扬声器测量》是其中的一本。该书是全面综合介绍扬声器测量的经典图书，其作者Joseph D’Appolito在扬声器系统和分频网络设计方面有着深厚的设计功底，是国际公认的声频权威专家。扬声器是一个复杂的电、力、声换能器，它将输入的电功率转换成机械振动，振动以声波的形式辐射出去，排除外界环境对测量的影响，才能获得真实的测量结果。本书不仅介绍了在消声室中的主流、标准的测量方法，还讨论了在非消声室用计算机辅助进行扬声器测量的方法，对中国的扬声器及音箱生产厂家有更大的指导意义。

◇陈闽琪

本文摘编自1964年第4期《无线电》杂志（总第100期）

“电子讲解员”

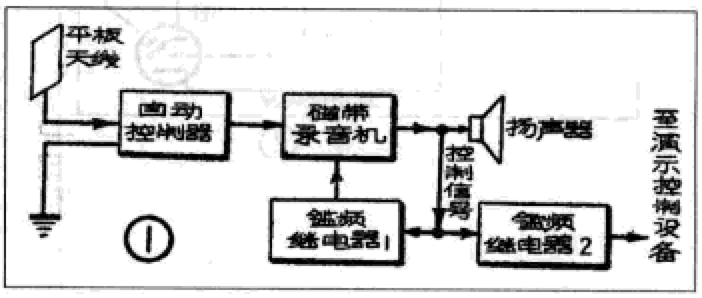
“电子讲解员”是用在展览馆内进行自动讲解的设备。当观众前来参观时，这种设备便自动向观众介绍展览品的情况，介绍完毕又自动停止，并等待下一次再有观众时重复工作。

这种设备主要由以下几部分组成，即自动控制器、磁带录音机和鉴频继电器，其方框图见图1。

整机线路见图2（不包括录音机部分）。自动控制器部分由电子管6A2（6A2П）组成哈特莱振荡器，平板天线就接在振荡回路里。无人接近天线时，振荡频率调准在465kHz，6A2输出电压经中频变压器T加到二极管6H2（6X2П）进行检波。因为中频变压器的谐振频率也调到465kHz，因此这时检波器输出的负电压最大。这一负电压加到电子管6P1（6П1П）的栅极，使6P1接近截止状态。这时流过继电器PП1线圈的电流很小，继电器PП1的接点1是断开的（处在位置2），录音机没有接通电源，因而不工作。

当观众接近天线时，天线对地电容增大，由于这一电容和C1是并联的，所以振荡频率降低。由于中频变压器的谐振特性，频率远低于465kHz的交流振荡电压通过它以后振幅值将大大减小，因而检波后加到6P1栅极上的负电压也大大减小，6P1的屏流大大增加，使继电器PП1的接点1闭合，接通录音机电源，录音机开始工作。

录音机在讲解过程中，观众也可能离开天线，这时振荡频率又恢复465kHz，6P1的屏流截止。为了使录音机能够继续把解说词讲完，则在6P1的屏极和地之间加了一个电阻R6，电源电压通过R6仍然保持有电流流过继电器PП1的线圈，维持继电器接点1的闭合（此电流小于启动电流）。



录音机将解说词放完以后便发出50Hz的控制信号，该信号送到鉴频继电器去，其工作过程后面再谈。

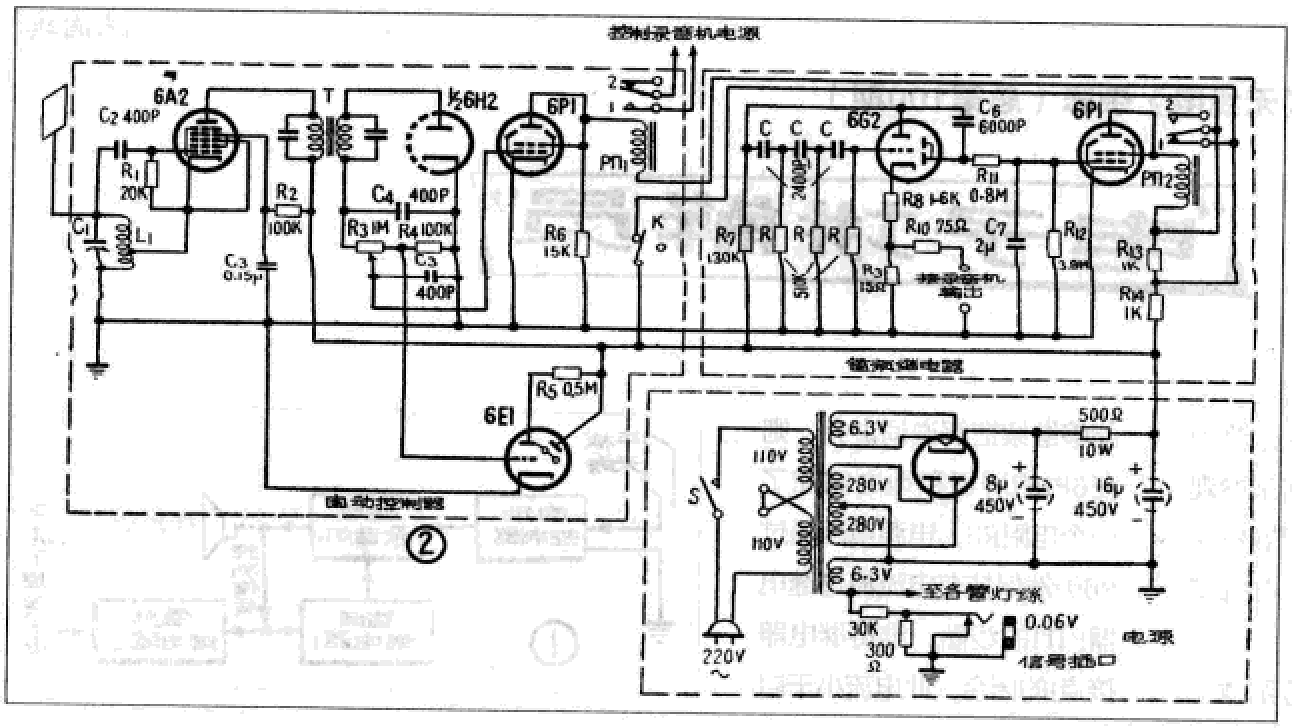
本机天线为一块0.2～0.5m²的金属板，垂直地面装置，外面可包一层彩布。注意天线及其引线不应与一切接地物，如底板、墙壁、电源线等靠近，并需有良好的绝缘。由于天线安装位置不同会影响振荡频率的数值，因此C1采用半可变电容器，其最大容量为100pF。振荡线圈可用中频变压器线圈改装，在离地1/5处抽头接于阴极。检波电路中的电位器R3用以调节继电器PП1的灵敏度，一般在调好以后便把它固定下来。指示管6E1（6E1П－K）用作调谐指示，当振荡频率为465kHz时，荧光幕的大部分面积上都发出荧光，只留下一条线形阴影。继电器PП1的电压为220V，吸动电流约为30mA。

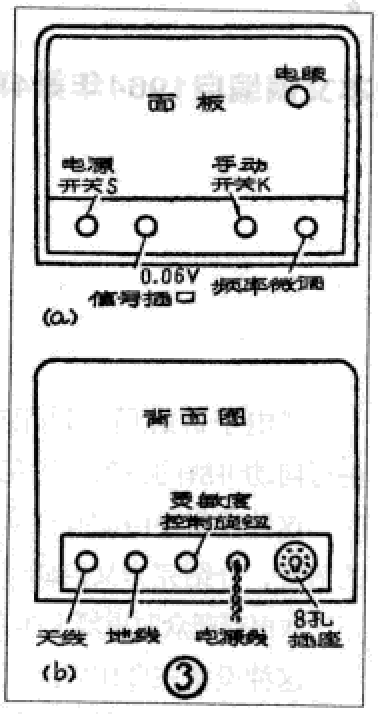
鉴频继电器部分包括电子管6G2（6Г2П—K）和6P1。6G2的三极管部分组成一个窄频带放大器。如图2所示，在6G2的栅极上接有3节相同的RC移相网络，屏极输出电压通过这些网络以后又能够加到栅极上。但是频率不同，经过网络后的相移也就不同，只有屏极上频率为50Hz的输出电压通过这些网络后恰好移相180°，到达栅极后和原来栅极上的信号电压正相叠加，起正反馈作用，从而大大提高放大器的放大系数，而其他频率的交流电压，由于相移不是180°，不能起正反馈作用，因而也就不能有效地进行放大。频率距50Hz越远，这种情况就越明显，因此放大器的通频带很窄。

放大器采用阴极输入，即录音机输出的频率为50Hz的控制信号通过电阻R10和R8加到6G2的阴极上。这种信号被放大后通过电容C6加到6G2的小屏上进行检波，检波后的电流对电容C7充电，因而使6P1的栅极电位逐渐变负（C7充电以前栅极电压接近于0），6P1的屏流减小，经过一定的延迟后继电器PП2接点放开（回到位置2），因而使自动控制器部分的电子管6P1屏流截止，继电器PП1的接点1也断开（回到位置2），切断录音机电源，录音机停止工作。

录音机停止工作后，电容C7通过电阻R12慢慢放电，6P1的负栅压逐渐减小，屏流随之渐增，经过一定的延迟后继电器PП2的接点1又重新合上，准备下次继续工作。

为了防止语言和音乐中出现的50Hz频率成分的干扰，在6G2的阴极上接有电阻R8，它使该管的小屏极在正常工作时比阴极电位低1V左右，因此只有当输





入信号的振幅大于1V时，二极管才能工作。同时输入回路的阻抗较低，这样也避免了静电等杂散干扰。

停止信号选为50 Hz，可以从市电取得，并且人们的听觉对它的反应也不灵敏，不致引起观众的注意。为了录音的方便，在面板上设有0.06V、50Hz的停止信号插孔。

安装时元件的选择要注意质量，特别是移相电路的元件，要求有很高的准确度和稳定性。本机采用聚乙烯电容和碳膜电阻。在业余制作的条件下可采用误差在±（2~5）%以内的元件。

整机除录音机单独放置外，其余各部分均装在一块金属底板上并放在木箱内，其面板布置和背面图见图3。面板上装有频率微调旋钮（C1）、50Hz、0.06V停止信号插孔、电源开关S、手动开关K和电眼（调谐指示管）。其背面设有天地线接线柱、电源引出线以及和录音机联系的八孔插座（录音机电源受自动控制器部分的继电器PΠ1控制，而录音机输出的停止控制信号必须接入鉴频继电器的输入端）。

本机装好以后，对各个部分分别进行调整。自动控制器部分首先调整电容C1，使其中振荡器的振荡频率等于465kHz，中频变压器也调准在465kHz，这时指示管的张角最大。注意调整频率时天线附近不应该有人。

振荡频率调准以后把手动开关K切断一下，使继电器PΠ1放开。然后再将K闭合，调节灵敏度控制旋钮，使PΠ1刚好可靠地不吸合。这时人去接近天线，如果能使继电器PΠ1闭合，就表示自动控制器已能正常工作。

调整鉴频继电器部分时，可在通频带放大器的输入端接一个50Hz、1V的交流电压，并用一个490kΩ固定电阻和一个40kΩ电位器串联代替移相网络中的一个电阻，调整电位器使6G2屏极输出电压最大（用电子管电压表测量），然后测量电位器阻值，再用相同阻值的固定电阻代换。如果发现有自激振荡或不稳定现象，则可以稍微增加R8的阻值，使负反馈增加，以降低放大系数，便可消除。

本机使用的录音机为810型磁带录音机，为了节约磁带采用了低速录音（9.5mm／s）。在这里录音机是在按下放音控键的条件下带负载起动的（继电器PΠ1的接点只控制录音机电源的开闭），当录音机电源电压降低时，电动机常常不能起动，因此最好换用一个较大的电动机。采用低速录音，能降低起动时的负载转矩，因此也对起动有利。

这套设备中的自动控制器也可以单独用在生产上作为保安设备，当人们接近某些危险地区时，它能自动发出告警信号或切断危险设备的电源。

读后感

看过陈叔叔的《电子讲解员》一文，才发现这篇文章比我大20岁呢。那时没有人体热释电传感器，没有单片机，没有MP3播放器。陈叔叔巧妙地运用人体对无线电波的干扰，来触发录音器播放。当年真的有展览馆采用过这个装置吗？如今为什么看不到这样的无线电触发器呢？原因很简单，当时的电磁空间比较纯净。相比现代的手机、Wi-Fi等大功率无线电信号的干扰，人体的干扰触发反而微不足道。当时是人体干扰无线电，现在是人体反被无线电干扰啊。回顾1964年的文章，除了品味那“古老”的电子制作，也能从中感受到科技的突飞猛进，反思科技对自然环境和我们生活的影响。

——杜洋

◇黄定国

本文摘编自1979年第5期《无线电》杂志（总第200期）

从烽火台到激光通信

利用光来传送信号，这对我国劳动人民来说并不陌生。大约在2700多年前的周朝，人们就开始在边疆建立烽火台，利用火光和烟焰来传递消息，一旦外敌入侵，就一台接一台地点起烽火报警。这就是古代的火光通信。

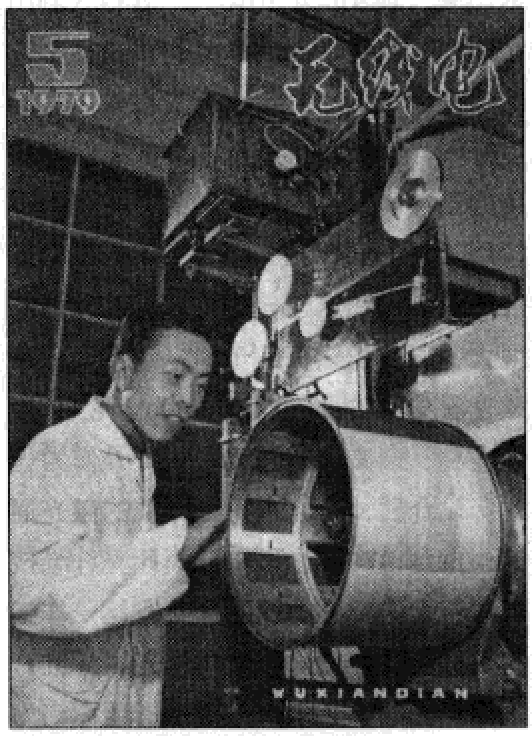
在近代战争和交通管理系统中，人们也经常采用一些简易的光通信。例如：海军调动舰艇、进行编队的闪光灯，指挥作战、协调行动的五颜六色的信号弹，海上、港口的灯塔，铁路站台上的红绿信号灯以及市内交叉路口的交通指示灯等，都是利用可见光进行光通信的简单例子。

这种简单的光通信一直得不到发展，原因是这种自然光发射方向杂乱无章，频率成份复杂，不易被人们控制，无法用来传送复杂的语言信号和电视图像信号。

我们所熟悉的无线电电话通信，是利用单一频率的无线电波作为载送语言信号的载波，向空中发射出去，经过空中一段距离的传输，由远方的接收机接收并把语言信号从载波中取出来，而达到通信目的。可见，实现通信的一个重要关键是要有一个单一频率的电磁波作载波。光和无线电波一样也是一种电磁波，它具有电磁波的一切特性，只是波长要比无线电波短得多。从封底的电磁波波谱图可以看出，可见光包括了红、橙、黄、绿、青、蓝、紫各种频率的光。比红光波长更长的红外光以及比紫光波长更短的紫外光，都是看不见的光线。在常规通信中，已经使用了长波、短波、超短波、微波和毫米波等波段，要实现光通信，就须在光波的范围内（即红外光——可见光——紫外光等波段内）寻找一种频率单纯的发光源作为光载频。

科学技术不断向前发展，1960年发明了激光。激光的出现，为人类提供了一种崭新的光源。它的频率很单纯，发出的光束很细，光能量在一个方向上高度集中，方向性强、亮度大，便于控制。由于这些特点，激光获得了日益广泛的应用，其中一个主要方面是激光通信。激光无疑是光通信所需的最理想的载频。

激光通信的最大优点是通信容量巨大。激光的频率极高，在10^{13}~10^{15}Hz之间，比现有的微波通信频率约高1000倍。从理论上分析：如果每一路电话通信频带为4kHz，激光光频段能容纳100亿个话路，如果每一路彩色电视的频带宽度为10MHz，则可用激光同时传送1000万套电视节目，这是迄今为止其他通信系统所不能达到的巨大的通信容量。



封面说明：光通信用光导纤维控制

为什么要用光纤维进行激光通信

最初的激光通信试验是在大气中进行的，像普通的无线电收、发报一样，在地面上的两点架设收、发光端机，就可以进行通信。但是，在地面利用大气层进行激光传输通信有致命的弱点，它受地面大气层的影响很大，很不稳定。由于激光的波长极短（在微米量级），它在大气中传输时遇到灰尘、雾、雨、雪等微小颗粒的阻挡，使光向四面八方散开，衰减很大，形成所谓“大气散射”。其次，大气中的水蒸汽、二氧化碳、沼气等对某些波长的光吸收能力极

强，大大衰减了光能量，这就是所谓的“大气吸收”。这些都使通信距离受到限制。此外，大气湍流和气温变化会使光束抖动，鸟类和飞机也可能遮挡住光束使通信中断。因此，激光大气通信只适用于一些短距离的机动通信。为此，人们就设想，像利用电线、电缆进行有线电通信那样寻找一种导光物质。

劳动人民长期的生产斗争推动了科学的发展。早在18世纪初，希腊一位吹玻璃工人观察到，光可以从玻璃棒的一端传送到另一端，而没有光从棒的周围散射出来。到20世纪30年代，就有人制出了很细的石英玻璃丝，并初步论述了它的传光原理。1958年后，又有人用透明度好的光学玻璃拉成丝，制成了医疗上用的各种内窥镜的信号导管、微光夜视仪用的光学面板和光电变换用的光学元件等。但是，这些玻璃丝对光的衰减都很大，长度也只有几十厘米到几米。在激光器发明之后的第6年，有人预言，用纯度高、衰减小的石英玻璃纤维作为光的传输介质，可以进行远距离的激光通信。直到1970年，研制低损耗光纤维技术才有大的突破。这种像头发丝一样细的能导光的玻璃丝，就叫作光导纤维，简称“光纤维”，有的技术书还称它为“光波导传输线”或“光波导纤维”。

光纤维是怎样传输光波的

人们要问，光会沿着弯曲的光纤维传输吗？回答是肯定的。一般光纤维是由芯和包皮两层玻璃构成的，包皮直径约在100～150μm，芯直径约为50～75μm。这种纤维的直径是很细的，但是与常用的波长在1μm左右的光波相比，光纤维相当于光的“波导”了。不过它与微波通信中用的屏蔽式金属波导不同，因此被称作“介质光波导”。制作时，一般都是使芯玻璃的光折射率稍大于包皮玻璃的折射率。我们知道，当光线以一定角度从光密（折射率大）媒质射向光疏（折射率小）媒质时，有可能在两媒质的交界面上产生全反射向前传播。这样，只要我们将光波的入射角控制在一定范围内，光波就能在芯与包皮的交界面上，连续产生类似镜子反光那样的反光现象，从纤维的一端传到另一端。图1（当期封底）左上角画出了3种不同结构的光纤维，它们的主要区别是截面上折射率的分布情况不同。第一、二两种光纤维即为上述利用全反射传播的结构，第一种为粗芯的，第二种为细芯的。第三种光纤维的折射率在截面上的分布情况是：中心处最大，沿半径向外折射率逐渐下降，最外层最小。这样，光波在纤维芯部传输时，会自动从折射率小的地方向折射率大的轴心处会聚。这种纤维叫“自聚焦纤维”，它在光通信中应用很广。

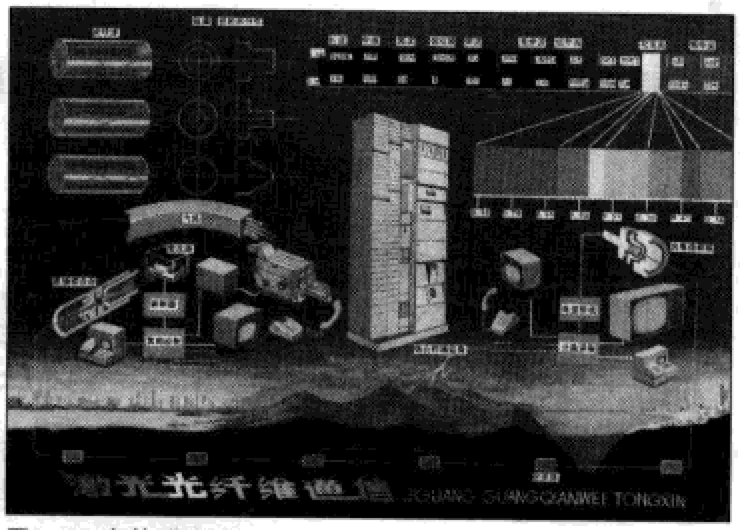


图1 1979年第5期封底

光纤维通信系统

光纤维通信系统与无线电通信相比较，在原理、结构以及通信过程方面都相类似，所不同的是传送信号的运载工具是频率在光波段的激光，而不是频率较低的无线电波。由于这个缘故，光纤通信系统的振荡源、放大、调制、滤波、传输和接收检测等都与光特性有关。下面我们结合图2所示最简单的光纤维通信系统示意图来说明其工作原理。

这是一个话音通信示意图。由普通的电子元器件组成的电信发送设备，把话音信号变成随声音强弱变化的电信号，经过足够强的放大后，送到光源去对光源进行调制。这里的光源，就是光载频振荡器，也就是激光器。这种调制又称作光调制，其结果是使光源发出的稳定不变的光束，变成随话音强弱而变化的光束，换句话说，就是使光源输出的光束带上了话音信号，成为已调制的光频信号。光调制有两种方式：一种是直接的内调制，它控制光源电参数（电流或电压）的变化，使光源输出的光束随话音信号的强弱而变化；另一种为外调制，即在光源输出光束的外部路径上放置一块晶体，把放大了的电信号（话音）加到晶体上以改变晶体的光学特性，这样光束通过晶体后就随信号的强弱而发生变化。

调制后的光频信号要注入到直径很细的光纤维中去，采用直接对准注入的方法效率很低，一般是通过透镜耦合器（见图1）中的小型聚焦透镜来提高耦合效率。光在纤维中传输一段距离后，光强会发生衰减，因此在长距离的光纤通信线路中，要加入许多光中继器来放大光频信号，以保证接收端有足够的强度。

光频信号由光纤维传送到接收端，由激光接收机内的光电检测器件把已调制的光频信号变成电信号，这就是光的解调。解调出来的电信号最后经电信接收设备还原成原来的话音信号。常用的光电检测器件有光电倍增管和半导体光电二极管。

当然，图2所示的光纤维通信系统只是一个原理图，实际的光纤维通信系统都是多路、大容量的。因此在系统的

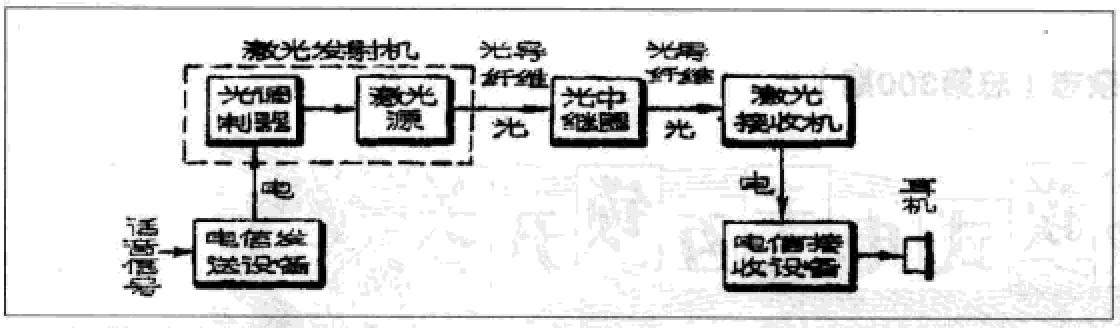


图2 最简单的光纤维通信系统示意图

发送端要加上多路复用设备，接收端加上多路分路设备。我们熟悉的微波、同轴电缆通信系统，为了得到较大的通信容量，往往采用频率复用、时分复用等手段，使许多路不同的电信号在一个信道上传输。光纤维通信同样可采用光频复用、光时分复用以及光空间复用等技术，来实现超大容量通信。

光纤维通信的特点及应用

光纤维通信与常规的电通信比较具有下列特点：

通信容量大 据初步估计，一对光纤维可同时传送150万路电话、2000套彩色电视，比现有的1800路中同轴电缆载波通信的容量大800倍以上。这仅是一对纤维的通信容量，如果把一束几十至几百根纤维汇制成光缆，它的通信容量则更为惊人，而直径却只有一二厘米。要是在一根纤维上再利用频率复用技术，传送几个波长的光频信号，一根纤维就能当几根使用，使通信容量又翻几倍。

节省大量有色金属 目前使用的中同轴电缆，每1000km耗铜500吨、铅2000吨，而拉1000km的光纤维，据估计，仅需要几十千克的超纯石英玻璃就足够了。

抗干扰 光纤维中传输的是光波，它不怕雷电袭击，也不受强电磁场干扰。是强电工程中进行遥控遥信、传输数据的有利工具。而且保密性极好。

耐腐蚀 光纤维一般用石英玻璃制成，物理、化学性能稳定，不怕潮湿与腐蚀，可以制成海底光缆、构成远距离的海光缆通信。

能自由弯曲 光纤维极细，卷绕性很好，在它外面套上塑料可制成柔软、坚韧、轻巧的光缆、能适应不同地形的敷设，适于铺设长距离干线通信线路。

激光光纤维通信上述种种特点，使得这种通信方式具有十分诱人的前景。大容量的激光光缆通信实现后，不但使传统的电通信发生一次重大的历史性变革，而且使光电技术结合，大大推动电子技术向新的高度发展。

众所周知，人类正在向信息现代化进军，要求传输的数据量与日俱增。例如：卫星、导弹追踪系统与计算中心之间的数据传输，工业遥控遥测、交通运输、天文气象、商业、银行……各部门的通信。这些数据通信的业务量很大、占用的路数很多，要求的频带又很宽。现有的常规电通信是远远不能满足需要的，只有激光光缆通信才能适应这种形势的发展。

有了大容量的宽频带光缆通信，电话通信面貌将蔚然一新：市内电话的数量可成万倍地增长；各城市间的长途电话也可像目前的市内电话一样方便地自动拨号，以光缆为传输线的电视电话网，使打电话的双方不仅能耳闻其声而且能目睹其貌，也可建立全国彩色电视广播网，使人们像收听收音机那样随意选择各地的电视广播节目，还可以广泛地利用闭路电视进行教学、医疗会诊、全息照相、技术交流和工业应用。

光纤维在飞机、舰艇和人造卫星、火箭等航天器内使用也特别合适，它可减轻负重，不受电磁干扰。

激光光纤维通信的研制工作发展极为迅速。现在，人们已成功地突破了研制低损耗光纤维的难关，把光纤维的传输损耗降低到1dB/km以下，许多国家开始试验用光缆在城市内传输电视节目和数字式电话，通话路数已达5～15万路，中继距离已从数公里延长到50～70km；新型的适用于光纤维低损耗区的长波半导体激光器也已产生……总之，光缆通信目前已处在实用化的前夜，实现大容量的激光光缆通信的时间已为期不远了。

事物发展是无止境的，目前人们正在进一步研究如何模仿集成电路技术来集成光路。就是把激光器、探测器以及各种光器件集成到一个很小的基片上，配以传输损耗更低、通信容量更大的纤维，并选择合适的激光波长，这将产生通信容量更大、中继距离更远、性能更好的第二代光缆通信系统。

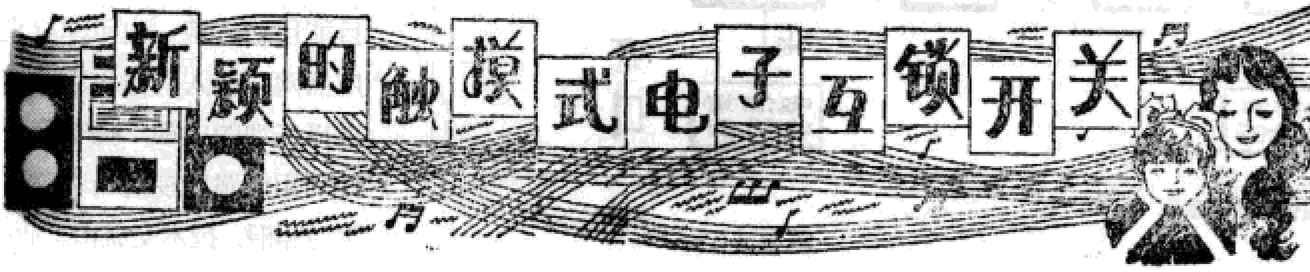
编后语

在整理本期回顾专题时，适逢谷歌在美国宣布推出千兆光纤网络的服务计划（google fiber）。据称，它的光纤宽带网络服务的上网速度比传统有线电视和电信公司提供的网络服务的上网速度快100倍，现代光纤技术将进一步为信息世界的提速助力。本刊总第200期杂志的出版是在1979年，我国刚刚开始改革开放，当年对于光纤通信实验与应用的展望在今天的通信运营商们和用户们看来，早已是“小儿科“，但从当时的文章里我们嗅出了“科学春天”的气息。

◇孙　伟

本文摘编自1987年第9期《无线电》杂志（总第300期）

新颖的触摸式电子互锁开关



一般音响设备的面板上都有一个功能选择开关，通过操纵此开关，可以使机内电路分别处于录放、调幅、调频、电唱等状态，这个开关是互锁式的。由于它是一个机械开关，所以可靠性较差，寿命有限。本文向读者介绍一种新颖的触摸式电子互锁开关，完全可以代替上述机械式的功能选择开关，效果非常好。

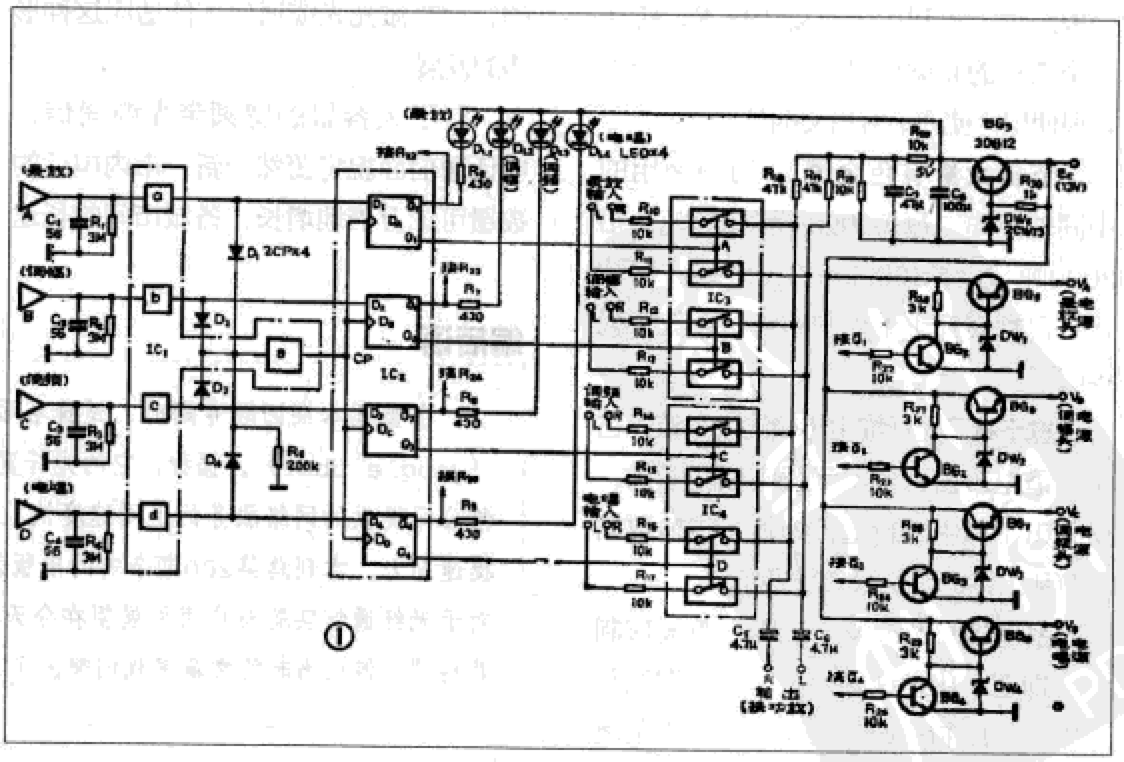
要想使电子开关完全代替原来机械式功能开关，电子互锁开关必须具有如下功能：①完成录放、调幅、调频、电唱等立体声模拟电信号的转换，②完成通路指示装置的转换，③完成电源的转换。图1是本电子开关的电原理图。

从图中可以看出，功能转换开关的变化是靠四双向模拟开关集成电路CD4066（图中的IC3和IC4）来完成的，它的作用是传递音频信号，在导通的情况下，可传输在VSS～VDD之间变化的模拟信号电压，由于本机集成电路的供电电压为5V，这样输入的模拟信号就可以在0～5V之间变化。模拟开关在导通时，它的导通电阻约200Ω左右，在关断状态下呈高阻态。模拟开关的通断由控制端的电平高低来决定，控制信号分别来自IC2的Q1～Q4端，当IC3、IC4中的A、B、C、D四个开关的某一控制端为高电平时，该模拟开关导通，传递模拟信号，如果该控制端为低电平，模拟开关则断开，呈高阻态。为了传输如图所示的录放、调幅、调频、电唱四路立体声模拟信号，共需8个模拟开关，所以本文中采用两块四模拟开关集成电路来承担此任。

图1中IC1为六同相CMOS缓冲器，它的作用是实现触摸功能，并且同时向IC2内四D触发器提供CP脉冲，本电路只用到这块集成电路6个同相缓冲器中的5个同相缓冲器a、b、c、d、e。R1～R4、C1～C4分别接在a、b、c、d四个同相缓冲器的输入端和地之间，由于CMOS缓冲器的输入阻抗非常高，所以在开机过程中a、b、c、d四个同相缓冲器的输入端全部被R1～R4钳制在低电平，它们的输出端也为低电平。这样通过4个二极管D1～D4加到另一个缓冲器e输入端的电平也为低电平。

图1中e缓冲器起波形变换和延迟作用，并向下一级的4个D触发器提供CP脉冲。由于e缓冲器的输入端为低电平，所以它的输出端，即IC2四个D触发器的CP端也为低电平。同时由a、b、c、d四个缓冲器输出端来的低电平先于CP脉冲加到DA～DD四个触发器的输入端，所以在开机的过程中4个D触发器的输出端Q1～Q4全部为低电平，由它控制的四双向模拟开关IC3和IC4全部为断开状态。同时四个D触发器另一组输出端Q1～Q4全部输出高电平，指示发光二极管DL1～DL4将不被点亮。并且这个高电平通过R22～R25加到了BG1～BG4基极上，使BG1～BG4饱和，BG1～BG4的饱和又导致了BG5～BG8的截止，四路稳压电源都没有输出电压供给录放，调幅、调频和电唱的4个前置部分。所以在开机后四路模拟开关都不工作。

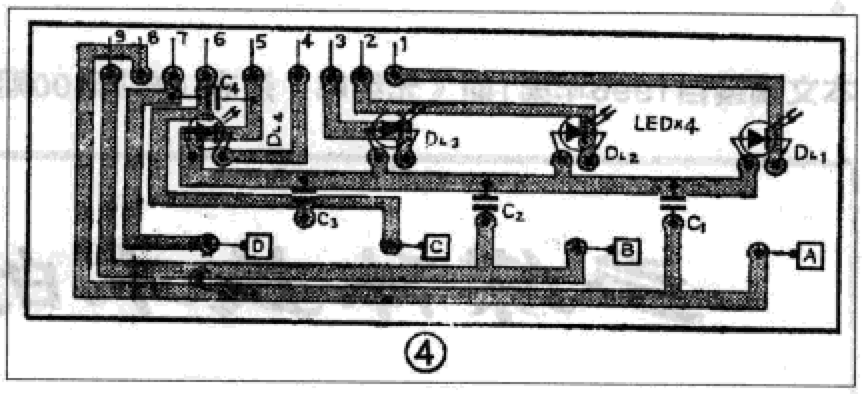
当用手指触摸A端时，R1的上端因受到感应电压的影响，向缓冲器a输入一个正脉冲，缓冲器也输出一个正脉冲，加到触发器DA的输入端D1上，同时这个正



①

脉冲还通过二极管D1加到了缓冲器e输入端上，缓冲器e也输出一个高电平至四D触发器的CP端，由于这时4个触发器只有DA触发器输入端加有正脉冲（高电平，所以只有DA触发器发生翻转，输出端Q1变为高电平，Q1变为低电平。由于Q1端变为高电平，使得A路双向模拟开关接通，传输录放头来的立体声模拟信号至输出端所接功放部分进行放大。同时Q1端变为低电平，使发光二极管DL1被点亮，指示这一路开关被接通开始工作。并且三极管BG1因$\overline{Q1}$端低电位的到来而截止，导致BG5导通，第1路稳压电源输出电压VA，通过A路模拟开关向输入端所接录放头供电，A路模拟开关部分全部进入工作状态。

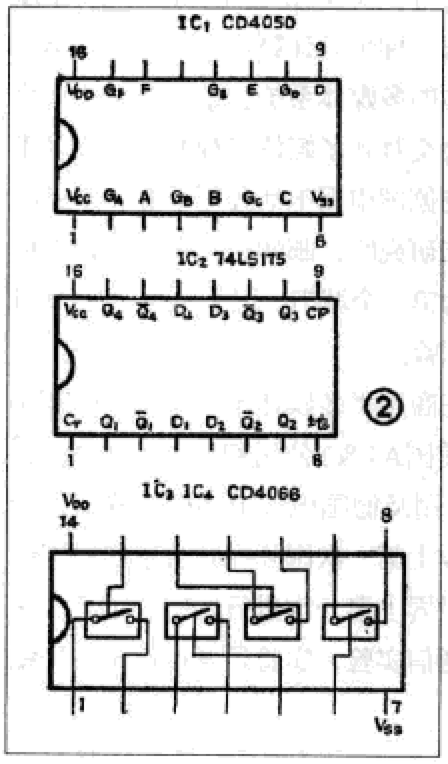
输出端所接放大器放大录放头来的音频信号。如果此时再触摸B触摸端，则电阻R2上端感应脉冲电压后输入缓冲器b，b输出高电平加到触发器DB输入端D2上，同时这个高电平经二极管D2、缓冲器e接至触发器CP端上，这时由于A触摸端上因R1上电压泄漏后变为低电平，这个低电平加到触发器DA输入端D1上，D1为低电平输出端Q1为高电平，触发器DB输入端D2为高电平，输出端Q2为低电平，所以当CP脉冲作用时，触发器DA、DB会同时发生翻转，DA输出端Q1变成低电平，关断了A路模拟开关，$\overline{Q1}$变为高电平，熄灭了指示发光二极管DL1，同时BG1饱和、BG5截止，关断了第1路稳压电源电路，DB的输出端Q2变为高电平，接通B路模拟开关，传输调幅立体声模拟信号。$\overline{Q2}$端变为低电平，点亮指示发光二极管DL2，并使BG2截止、BG6导通接通第2路稳压电源，输出电压VB向调幅接收头供电。输出端所接放大器这时放大从调幅头来的立体声模拟信号。这样模拟开关就完成了功能选择转换、指示及电源转换的功能。再触摸其它触摸端，还可选择调频、电唱等其他功能。

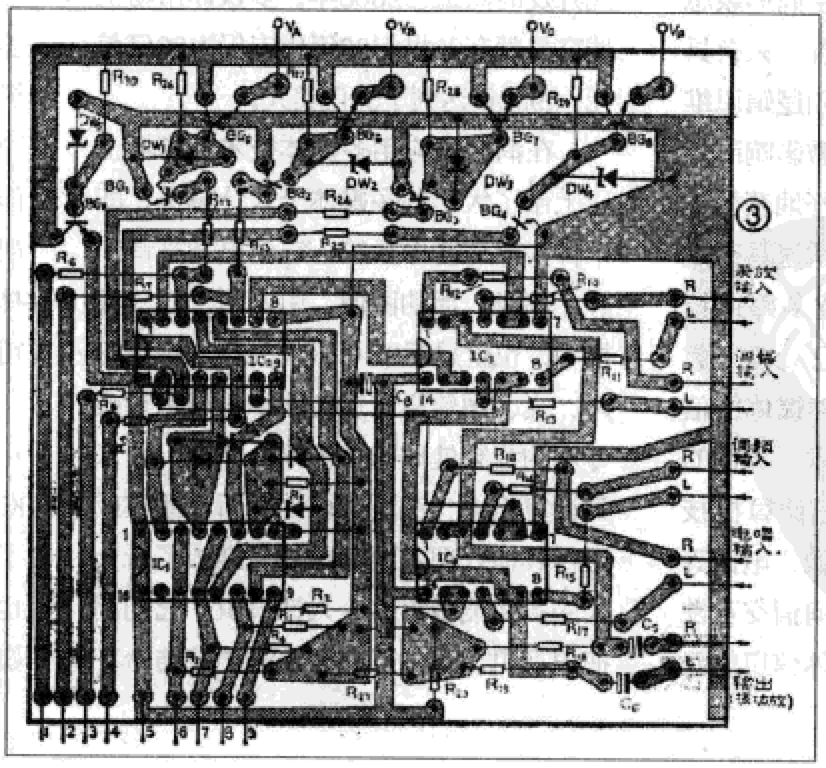


本开关电路中IC1选用CD4050六同相缓冲器集成电路，可用国产J331代替。IC2选用四D触发器集成电路74LS175。IC3和IC4为四双向模拟开关集成电路CD4066，也可用国产C544集成电路代换。这3种集成电路的功能示意图及接线图见图2。

晶体管BG1～DG4采用3DG6，BG5～BG6的型号可根据所接电路需要的供电电流而定，一般可采用3DG12。因IC2为TTL型器件，所使用的电源电压为5V，而IC1、IC3和IC4均为CMOS器件，电源电压可取3～18V。为求整个电路不需要多路供电，所以用BG9进行稳压后输出5V电压向整个电路供电。

图3、图4是电路印制线路板图，其中图4所示的印制线路板可随机固定在机箱面板上，上面的发光二极管指示工作状态。触摸端可用装饰性金属片制成。两块印制线路板则通过九根导线连接起来。整个电路在装配完毕，检查无误后，先在电源部分接上电流表，再接通电源。一般情况下4块集成电路的耗电电流应在30mA左右。四路稳压电源中的R26～R29电阻值应尽量选大一些，这是因为BG1～BG4在饱和时，将这4个电阻间接接入了电源，若在电阻上的电流过大，将是无谓的损耗。这几项检测无误后，即可对电路的功能进行检查，触摸A触摸端，则A路模拟开关接通，指示发光二极管DL1点亮，测量BG5发射极电压VA，应有电压输出。再测BG6～BG8各路应无电压输出。然后再检查其他各路工作情况均应正常可靠。本开关输出端所接的功放部分，输入阻抗要求应大于50kΩ。





◇秦　崎

本文摘编自1996年第1期《无线电》杂志（总第400期）

多媒体技术的应用与发展

自Commodre公司1985年推出世界上第一台多媒体计算机系统以来，多媒体技术的产品在20世纪90年代得到迅速发展。多媒体技术是计算机发展史上的一场革命，它为人们展现了一个多姿的视听世界，令人耳目一新。目前，多媒体技术广泛地应用于教学、工业控制、研究、交通、信息管理、办公自动化系统以及游戏、娱乐等领域内。经预测，在今后几年内，多媒体技术的应用将会深入人们生活的各个方面。

一、多媒体技术

我们知道，人的感知是由感受器官、传递神经和大脑皮层三个部分组成。大脑左半部主管视觉的空间形象思维，右脑主管语言的逻辑思维。只有具备同时启动大脑的形象思维和逻辑思维的能力，即由左右脑相互刺激影响而形成视听的综合能力，才能更好地获得更多更好的信息。多媒体技术就是具有这种能力的一项新技术。何谓多媒体技术，它就是通过计算机，把文字、数字、图像、图形和声音等5种媒体的信息进行综合处理和管理的技术。具体的说，多媒体技术就是可以把计算机技术、电视、广播、录音、录像、电话等融为一体组成多媒体系统。何谓交互性多媒体技术，它就是指多媒体信息能双向传递的技术，其最主要的特征是有线电视、电话、计算机互补性地联网，从而最大限度地发挥各自的优势功能。

二、多媒体技术应用的现状

应用多媒体技术是20世纪90年代计算机的时代特征，其应用市场是一个高科技的新兴市场，发展迅速。如日本先锋公司于1993年8月出售多媒体系统，10月份就推入美国，1994年夏季在东南亚市场面市，秋季打入欧洲市场。夏普公司于1992年7月建立“多媒体系统研究开发中心”，1993年8月在美国推出多媒体产品。东芝公司于1993年6月建立“多媒体业务促进会”，并把对多媒体产品研究开发时间定于2000年。多媒体市场全球交易额在20世纪80年代末仅为20亿美元，1992年达到了50亿美元。

在消费类应用多媒体技术的市场上已上市了大量的多媒体个人计算机，即一种多媒体音像系统，它们是把声音、静止图像、活动图像、引入到个人计算机中，也就是把CD－ROM光盘上录制的声、文、图信息通过音效卡和视频卡或专用的音频处理器和视频处理器，输入到计算机中，在计算机上编辑、播放或进行其他处理。现在国外又推出了新一代的多功能多媒体个人计算机，它们是把电视机、录像机及通信的功能结合在一起。1994年9月在日本东京举行的数据展览会上，多数日本计算机厂家都展出了这种电视机、录像机、个人计算机三位一体的多媒体机型。这种机型装有内置式电视调谐器和内置式立体声扬声器以及CD－ROM光盘驱动器，并加装了录像功能。它们可以播放CD唱片，编辑音响和照片，可以收看普通的电视广播，使用者能自由地改变电视图像在监视器屏幕上的尺寸，把电视图像缩小在屏幕一角，一边看电视一边通过键盘进行文字或表格处理，可以把接收到的电视图像变成静止画面，使用者可直接把其编辑到自己的软件中，作为资料插图使用。这类产品的价格从20万日元到40万日元不等。美国HP公司在1994年3季度还推出一种个人计算机、传真机、电话机一体的多媒体系统。德国已开始在全国试验交互式多媒体电视联网，该项工作是由德国电报电话公司承办、多家电视台和研究所、邮购公司参加。首都柏林作为第一个城市，已于1995年2月15日首先试验。

在商用类多媒体市场上，1994年10月，美国AT＆T公司和日本NTT公司、KDD公司及德国电报电话公司联合进行了世界上第一次国际视频会议实验，这也是世界上第一次进行如此长距离的多媒体通信实验。实验是通过宽频带光缆

线路在日本京都市和德国电报电话公司的总部所在地柏林及AT＆T公司贝尔研究所所在地新泽西洲之间进行的，日本京都市和新泽西洲相距约1.4万千米。

随着国际上多媒体应用市场的发展，国内多媒体技术应用的研究也随之崛起。1992年9月8日，台资企业建邦信息工程技术有限公司和机电部电视电声研究所联合展出了我国第一个能将各种信息及时送入千家万户的多媒体图文信息电视节目制作播出系统。河南省电力调度所已投入使用了把计算机区域网、有线电视网、程控电话交换机有机结合在一起的交互式多媒体技术应用系统。多媒体的终端是通过有限电视的光纤网与各种信息源、信息库相连，从而达到信息资源共享的目地。目前我国上海有线电视网在1995年初已建成一个覆盖全市的采用国际上通用的光电混合体制的拥有100万用户的大网，预计到1995年底可完成200万户联网，这将是世界上最大的有线电视网。江苏、山东、广东等省份的许多市、县也正在筹划铺设光纤有线电视网，从而为多媒体技术的应用打下基础。

三、多媒体技术应用的发展

专家们认为，在20世纪90年代内可以实现：1）电视购物，2）家庭收看到几百个频道的电视节目，且能按个人兴趣随意挑选，享受音频和视频节目，3）收看最新电影，且能根据个人时间安排，4）运用网络中的中心数据库，消费者能在任何时间、任何地点调看任何内容，5）交互式教育，6）享受可视电话服务、电视银行服务、电视会议服务等，7）在家里参加网络系统中的集体娱乐活动。

交互性多媒体技术的应用为实现以上这些设想提供了可能，这也是20世纪90年代或更远的将来，世界各国各大公司竟相开发的重点。如美国最大的两家有线电视公司——美国电讯传播公司（TCI）和时代—沃纳公司在1993年相继宣布将分别耗资20亿美元和50亿美元创建各自的多媒体系统。两公司还于1993年6月作出决定，在建立CATV方面采用一项共同的标准，并为此建立一个共有的分公司，以使两家厂商避免因电视系统之间标准的不同而发生争执。TCI公司是计划在4年内耗资20亿美元，其目的是给它的1000万用户中的900万个用户提供一系列新型有线电视服务，其中一个项目是通过有线电视网传输多达500个频道的电视节目。美国西部公司和时代—沃纳公司于1993年5月17日宣布结盟，时代—沃纳公司耗资的50亿美元中，西部公司将投资25亿美元。该公司即将在弗罗里达州试推出一系列交互性多媒体服务为内容的“全面服务网络”。美国电报电话公司（AT＆T）正在研究建立一个全国数字存储装置网。这些中心数据库将分布在AT＆T公司的全国长途电话网上，并通过有线电视公司的CATV网和当地的电话系统进入各家各户。使用户只要在起居室一按遥控器按钮就能获得巨大数量的电影、游戏、教育软件和其他信息。英特尔公司（Intel）和微软公司（Microsoft）则已与数控电视的专业厂商通用仪器公司（General Instrument）联合研制终端设备。从而使双向多媒体通信成为可能，实现双向CATV服务。美国电话“巨人”贝尔大西洋电话公司于1993年11月1日在洛杉矶试验了一种不用电影拷贝，而通过光纤电话线路从制片厂直接向各家影剧院播放电影的新技术。这一技术的实现，将使通过CATV网或电话线路向家庭传送电影、录像等视频成为可能。今后将电影、录像等视频节目用数字压缩技术处理后储存在网络中心数据库中，用户可单独、随时运用中心数据库，调看自己想看的节目，从而使“私人影视室”变成现实。可以预见，在今后10年内将实现多种交互性多媒体信息服务，在美国的一些大城市则可望在5年内变为现实。

从目前形势看来，美国是世界上最大的多媒体市场，1993年其多媒体市场的收入为49.2亿美元，而1994年的收入为68.7亿美元、增长40%。预测去年将达97.8亿美元，比去年增长42%，2000年将超200亿美元，比1994年增长4倍。

编后语

这是《无线电》杂志1996年总第400期上的专题“多媒体技术”中的第1篇文章，那期杂志用了11篇文章从不同角度来介绍多媒体技术。在多媒体技术蓬勃兴起的20世纪90年代，《无线电》是国内首批为数不多的全面介绍多媒体技术与应用的媒体之一。

从我们摘选的这篇文章介绍的内容来比对我们如今现实生活中无处不有的多媒体体验，用“日新月异”这个词来形容技术的发展与更迭实不为过。20世纪90年代，互联网普及的“前夜”，纸质媒体对新技术的介绍与推动作用，从当年杂志内容上得到了充分体现，宽屏幕彩电、多媒体声卡、绿色计算机……那些年的时髦名词如今要么已稀松平常，要么已逐渐远去。无论那些年，还是这些年，一直不变的是我们对新事物的关注、对新信息的梳理、对新方法的推介。

◇范志庆　何银平

本文摘编自2004年第5期《无线电》杂志（总第500期）

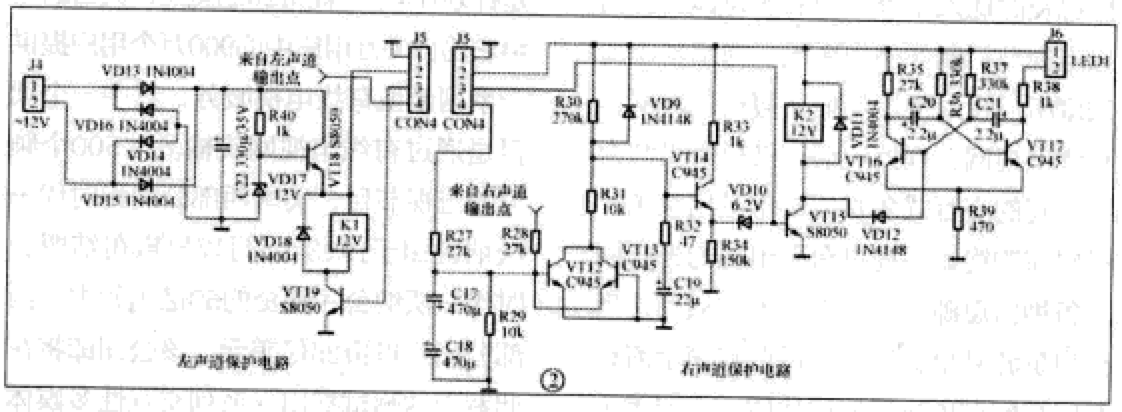
一款简洁优秀晶体管功放的设计制作

晶体管功放的发展历时几十年，优秀线路层出不穷。本文介绍的这款功放是以某知名品牌功放为蓝本，稍作改进而成的。此功放线路经典简洁、元件易购、调试简单，值得向大家推荐。

电路简介

整机由左右声道两块电路板组成，左右声道的主电路及电源电路如图1所示，保护电路如图2所示。图3、图4是左、右声道的印制电路板图，它们分别安装在一块70mm×80mm×90mm的扇形散热片上，两个声道安装在机箱的左右两侧，隔离性非常好。

VT1、VT2、VT3、VT4组成双差分对称输入级，电流$I_1=I_2=1.2mA$，由$V_{BE1}+I_1\times R_5+(I_1+I_2)\times R_7=-V_{D2}$而得。电压放大级的电流$I_3=5mA$左右，由$I_1\times R_3=V_{BE5}+I_3\times R_{15}$而得。R16、R17、R18、



VT7组成功放输出级偏置电路。其中VT7是偏置管，根据$V_{R18}=V_{BE7}=0.6V$，VT7的基极电流约为0A，可得$V_{AC}=V_{BC}+V_{BC}\times(R_{16}+R_{17})/R_{18}=0.6\times(1+(R_{16}+R_{17})/R_{18})$，显然，$V_{AC}$可以通过调节R18而变化，若R18使用多圈电位器，则可使V_{AC}随R18缓慢变化，实现高精度调节。V_{AC}的变化改变VT8、VT9的偏置状态，使R20上的电压随之改变，从而影响到末级功率管VT10、VT11的偏置状态。由于输出管在开始导通时集电极电流随V_{BE}急剧变化，V_{AC}以较高精度缓慢变化，可以很方便地控制偏置电流的大小，给偏置调节带来方便。同时，偏置三极管VT7与功率管一起固定在散热片上，当散热片温度异常升高时，偏置三极管集电极电流增加，集射电压反而下降，引起偏置下降，起热反馈，稳定偏置的作用。电压放大倍数确定为$A_V=1+R_{25}/R_{26}=58$倍。L1、R23、R24、C9是扬声器特性补偿电路，使扬声器接近理想中的纯阻负载状态。VD1、C3、VD2、C4稳定输入级的偏置电流，而VD3、VD4、C7、C8将功率级与输入级、电压放大级隔离，有效避免功率放大级在大动态时因吸收大电流而对前面电路的影响。

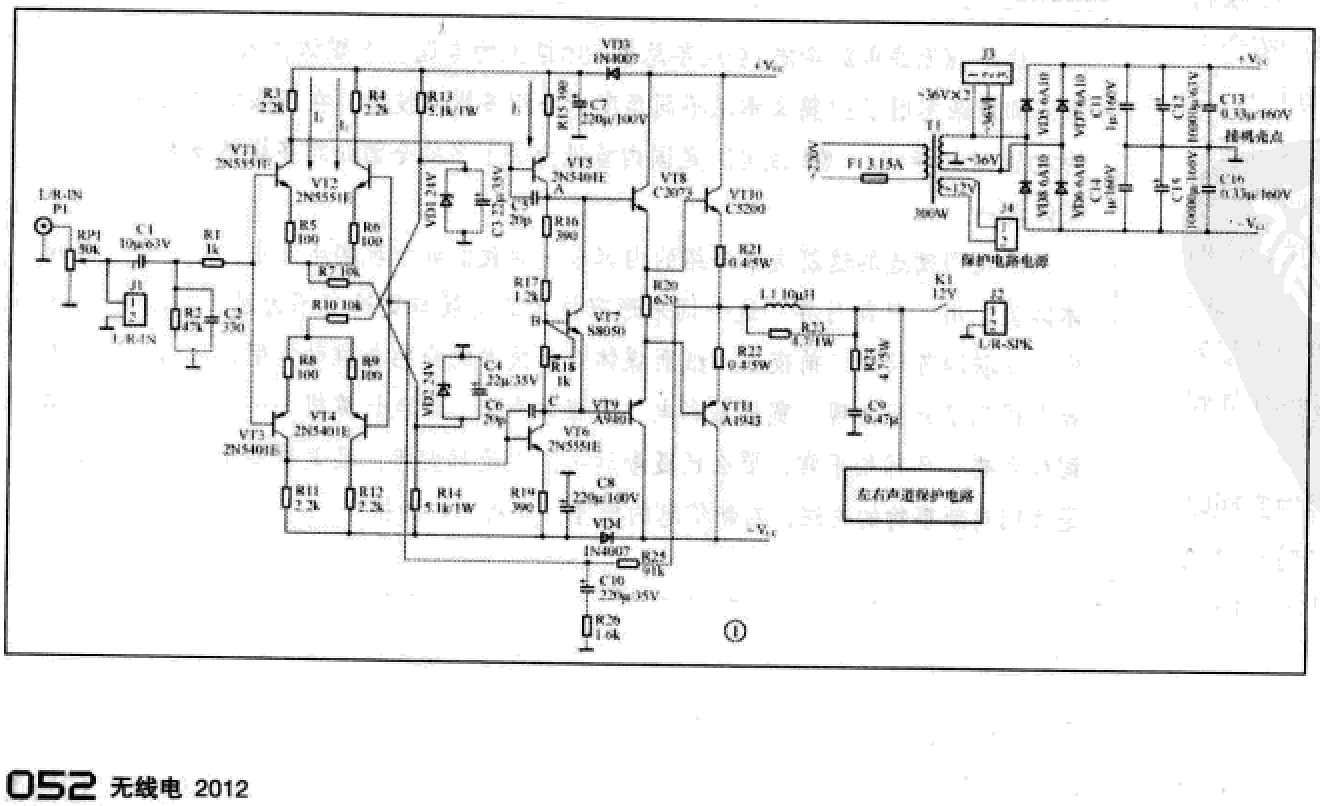
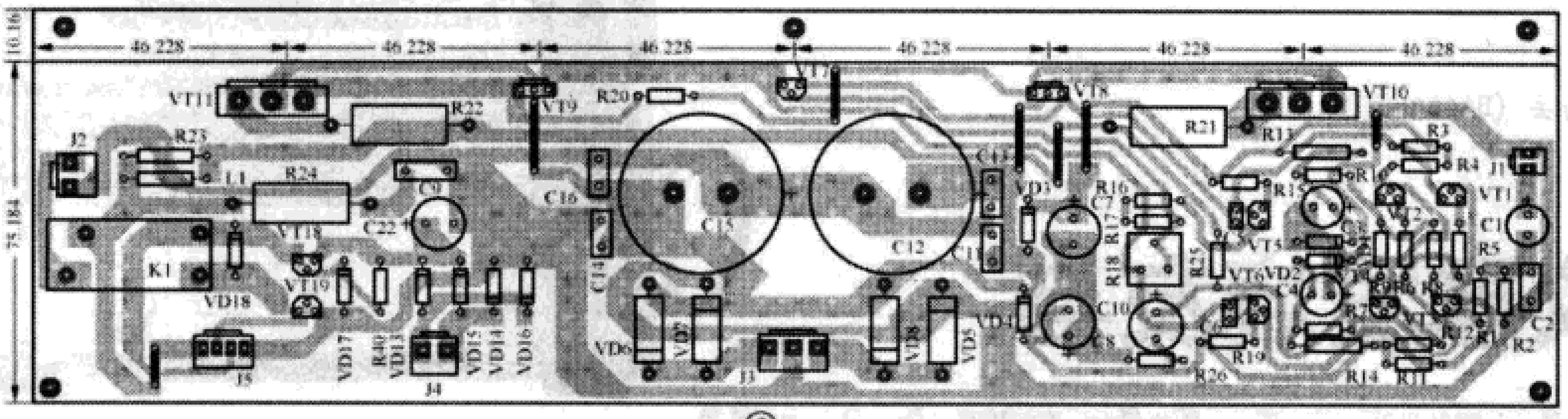
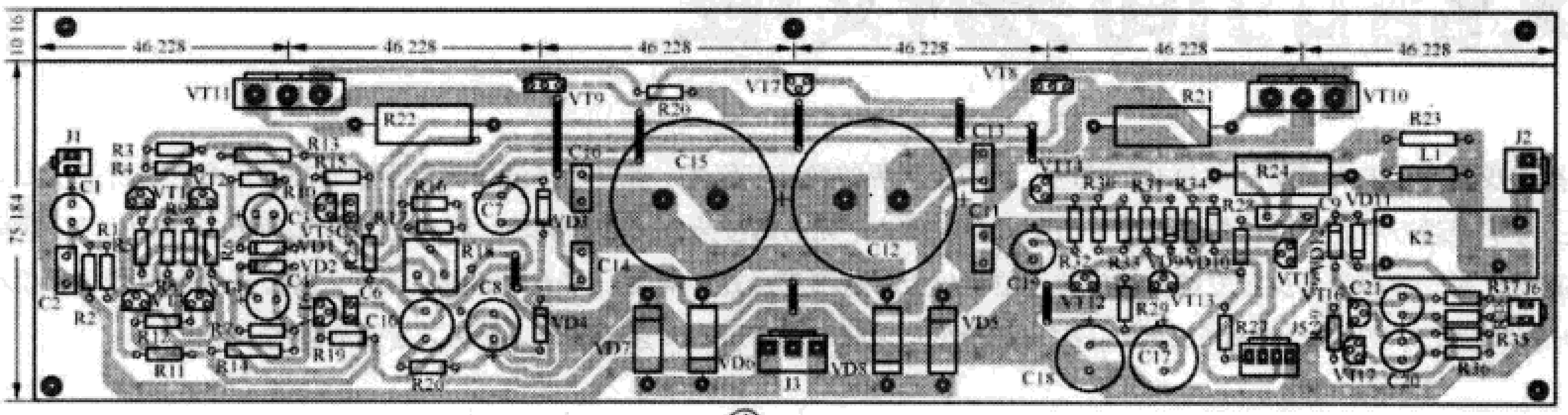


图2是该机左右声道保护电路，该电路简单，保护措施可靠，你可以将该电路移植到别的功放电路上，方便灵活。两个声道保护电路由



③



④

排线插座J5相连。VT14、R30、R32、C19组成开机延时电路，其中R30、R32、C19决定延时时间长短。VT12、VT13及外围电路监测两个声道输出的中点直流电位的变化，当该电位异常时VT12或VT13导通，C19放电，VT14截止，导致VT19、VT15截止，左右声道继电器K1、K2释放，保护扬声器。VT16、VT17及外围电路组成多谐振荡器，在开机延时期间或发生保护动作期间LED1闪烁。一旦电路正常工作，VT15导通，其集电极的低电位使VD12导通，多谐振荡器电路停振，指示灯LED1常亮，故LED1可兼作电源指示灯。

制作调试

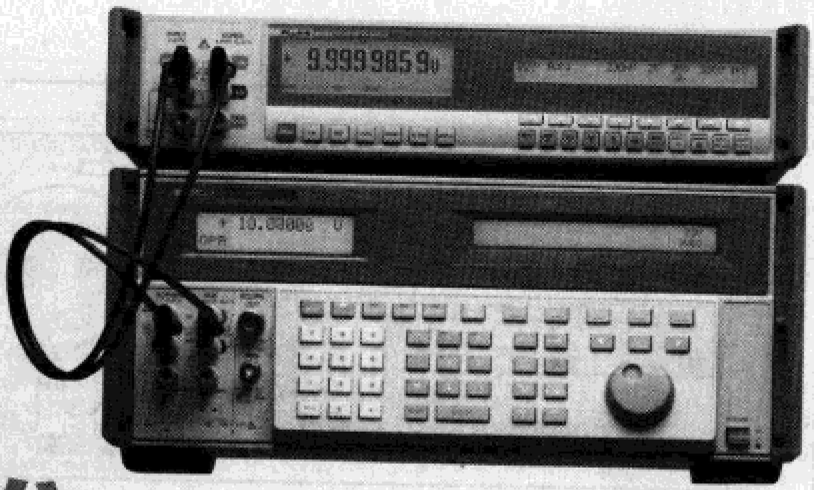
本机使用的2N5401/2N5551、A940/C2073，价格便宜，容易购买，只是现在不太流行，但性能还是相当不错的，关键是你可以买回一堆，从容挑选并配对。三极管的挑选在业余条件下用数字万用表即可，放大倍数相差5%以内，制作成功就有保障。功率对管A1943/C5200一定确保是正品，最好从正规渠道购买。L1可用1mm的漆包线在直径5mm的圆管上绕8圈而成。VT7、VT8、VT9、VT10、VT11安装在同一散热片上，以保证温度的一致性。

该机调试很简单，首先将R18调到最大，在确保安装无误的情况下，接通电源，观察VT8、VT9、VT10、VT11有无异常发热的情况。用万用表检测R3、R4、R11、R12上的电压约为2.6V，R15、R19上的电压约为1.9V。缓慢调节R18，使R20上的电压逐渐增加，此过程最好分几步进行，每次增加一点，观察功率管是否异常，中点电位是否异常。本人在制作时将R20上的电压调节到1.15V，R18在600～700Ω之间。只要元件精心选择过，输出中点的直流电位很容易被控制在极低的范围内。经过一段时间的连续观察，如无异常，就可以加上测试信号或音乐信号进行试机了。本机可以方便地驳接各种前级，装上音量电位器，直接接上CD等现代数字音源，推动扬声器也不在话下。

对动手派而言，能亲手尝试各种线路，经过努力获得成功，是最大的乐趣。这就要求我们在现有的条件下，由简到难，先选择一些简洁的线路，打下扎实的基础，而后再尝试稍复杂的线路。本文推荐的这款电路，在国内许多功放机上可以见到。你可以稍加发挥，换上近年流行的功放对管，或者稍作些变形，融入一些自己的设计，就能体会动手的乐趣。Ⓦ

编后语

大大小小的功放制作从来都是电子爱好者热衷的动手制作项目，经典的电路设计、发烧的器件搭配对于动手派而言，也从来都有说不完的话，数年前如此，数年后相信也是如此。爱好者对亲手制作和亲身体验的美妙追求不变，但不断发展的音频技术、音频器件和制作工艺将会为爱好者带来更多选择上的变化。



◇杨法（BA4AAF）

仪器发烧友与仪器的简易校准

很多仪器发烧友对高精度仪器非常痴迷。比如最常用的数字万用表，普通电子爱好者甚至专业技师使用的是价值仅百元左右的三位半普通万用表，而仪器发烧友一出手就是价值上千元的四位半以上的数字表，而且还都是FLUKE、Agilent等顶级品牌的中高档产品。很多资深仪器发烧友都拥有五位半以上的高精度台式多用表，对于骨灰级发烧友，拥有一台目前最高等级八位半的HP/Agilent 3458A或Datron/FLUKE 1281（更新型号为FLUKE 8508A）多用表作为镇宅之宝是必须的。

仪器发烧友的“发烧”情结

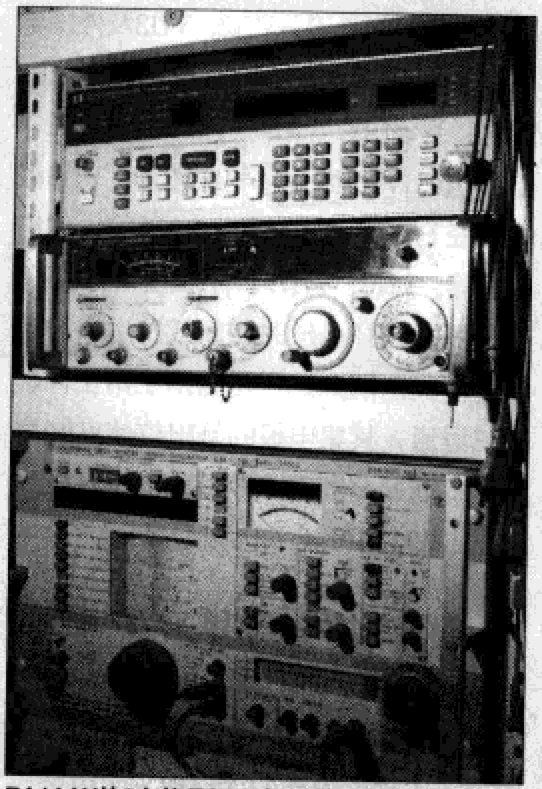
仪器发烧友通常的理念是“你无我有，你有我精”。这里的“精”理解为仪器的精度。绝大部分高精度仪器都是仪器界大牌厂商的作品，无论是仪器自身性能，还是品牌魅力，都吸引着大批仪器爱好者。档次越高的高精度仪器在市面上越是少见，价值也越高，物以稀为贵，这些仪器也就越成为仪器发烧友所共求的珍品。

BG2VO的部分基准仪器

顶级仪器往往不惜工本，不但测量性能优异，仪器内部的做工和元器件选用也叹为观止，能体现出一个时代电子工业的最高水平。对于发烧友来说，高档仪器不但是测量的工具，更是供观赏的科技艺术品。仪器发烧友总是对顶级品牌仪器的经典产品抱有敬意，对于面板上按键旋钮林立、充满科技感的仪器特别感兴趣，顶级高精度仪器对于仪器发烧友来说，几乎就是掌控一切的神器。通过高精度仪器可以更细致入微地测量一个物理量，从而观测一些平时不容易发现的细小变化。

尽管高精度测量并不是在所有应用中都是必须的，但在有些科学研究项目中还是必不可少的，如仪器的计量校准、量值标准的传递与保存、认证实验室等级的标准测试、物理量稳定度研究等。

例如，一个可调稳压电源在设定输出



BA1AAX的3台信号源（自下而上分别是SMDU、HP8640B、HP8656B），使用HP58540A GPS频率基准来进行校准

后，理论上其输出电压是恒定不变的，用普通电压表观察也看不出电压变化，但如

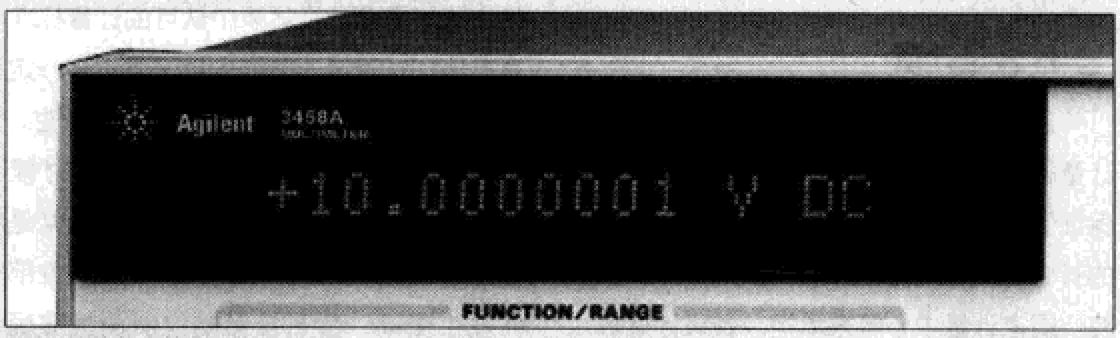
果用高分辨率的高位数电压表来监测，你就会发现被测稳压电源电压存在实时的变化，只是这种变化比较细微，可能是毫伏级别的变化，不容易被发现。不同品质档次的稳压电源输出电压稳定程度是不一样的。

再例如，一枚小小的普通定值电阻，虽然大部分电子爱好者都认为它的实际电阻值会与标称值存在一定误差，但具体的电阻真值是恒定的。如果你通过高精度的多用表持续监测就会发现，实际上定值电阻的阻值会随着温度的变化而动态变化，尽管这种变化是非常细微的，通过普通仪表很难发现，但确实存在。另外，普通仪器的计量和校准都是通过高精度仪器来实现的。

技术型仪器发烧友通过自己拥有的高精度仪器来测量和观察这些细微的变化，总是乐在其中，这也是发烧友与众不同的地方。

说说高精度仪器的特点

高精度仪器通常具备高分辨率、高准确度、高精确度、高稳定度 4 大基本特征。



可显示9位数字的多用表

外在表现——分辨率

分辨率是指仪器测量数值量化的细度，是高精度仪器外在的表现，对于现代数字显示仪器，主要表现为显示数字位数多或显示小数点后的位数多。以数字多用表为例，普通三位半万用表显示4位数字，高端的八位半数字多用表则可显示9位数字之多。对于老式指针仪器，为了提供细密的读数和指示，就需要精良的指针表头。

内在特性——准确度、精确度、稳定度

准确度是指测量数值接近真值的程度，精确度是指测量数值的重复性或漂移程度，稳定度是指特性随时间变化保持恒定不变的能力，一般又分短时稳定度和长时稳定度。仪器的分辨率、准确度、精确度都是以仪器稳定度为基础的，仪器的稳定度是仪器制造的真功夫。

仪器的稳定度与机器的构架设计、元器件的选用，甚至PCB设计布局，都有一定的关系。高精度仪器关键单元使用的电阻、电容都是低误差、高精度、低温漂的高稳定性、高耐用性器件，其价格可能是普通电阻、电容价格的几十倍甚至上百倍，所以也难怪高精度仪器成本一直居高不下。这类仪器的PCB布局会尽量减少跳线、走线，充分考虑到电磁兼容和抗干扰能力，高精度仪器最早使用多层PCB，有的早期PCB为了降低走线电阻还进行了全面镀银的处理。

不过关系最大的还是仪器的基准部件。同样分辨率的仪器，由于配置不同的基准而具有不同的稳定度指标，其档次和性能就会出现差异。为此，很多仪器厂家将更高等级的基准部件作为仪器的选购件，为需要更高性能的用户提供升级空间。

大家在选购中高档频率计、频谱仪、信号发生器时会发现很多产品性能升级的选配件中，首当其冲的都会是更高稳定性指标的振荡器（TCXO/OCXO）基准组件，而且此类选配件是用户购买率最高的。例如，大家用得较多的Agilent 53132A频率计的选配件Option 001、010、012是各种档次时间基准选件（仪器标配基准稳定度为5×10^{-6}，选件001/010稳定度可提升到2×10^{-7}/ 2.5×10^{-9}，最高档的012选件是在010的短稳性能基础上提供更佳的长期稳定度性能）。

对于数字化仪器，在设计时通常可以通过提高ADC模数转换器取样位数得到更高的分辨率，但单纯的高分辨率并不等于高精度。试想一下，如果有一件仪器在设计时通过提升ADC性能增加了两位数字的显示分辨率，也就是说，仪器能测量出更细小的变化量，但由于基准的稳定性达不到相应的要求，导致增加的两位数字实际测定的数值一直在变化，无法达到稳定的要求，那么对测量就没有实际意义了，反而形成了视觉干扰，这就是一部设计失败的仪器。

上述几个专业概念，如果用大家在生活中比较熟悉的射击打靶作比喻，可能更容易理解。仪器的分辨率相当于靶纸上画同心圆环数的细密程度，如在标准的10环与9环间再画上10个同心圆，便能方便、精确地确定着弹点的成绩。仪器的准确度相当于射击着弹点与靶心的距离（靶心可以相当于测量的真值）。仪器的精确度相当于校枪时多个着弹点分布平均偏离靶心的程度。仪器的稳定度相当于靶心位置相对地面（或固定参考位置）的漂移程度。

特别

业余条件下常用仪器的校准

电子爱好者都知道电子元件存在老化的特性，随着时间的推移，电阻、电容都会出现阻值容量的变化，虽然这种变化通常比较细微，不容易影响普通电路的工作，但对于高精度仪器，这种变化的累积足以影响到仪器的测量准确度，所以高要求使用的仪器定期都需要进行计量和校准。

什么是计量

计量是确保量值准确、可靠的活动，计量检定是进行量值传递的重要形式，是保证量值准确的重要措施。正规途径仪器的计量通过各级计量所、计量局、计量院、国家计量中心等来承担。各级计量机构拥有法定可信的计量标准器具（各级计量院的仪器通常就是“标准具”，国家计量规定数据以各级计量机构为准，其他的标准都不认可），达成统一标准的传递。有时你会发现，有些计量机构使用的仪器并不都是最新的顶级设备，但他们同样承担着标准的传递，因为他们按照规定定期到上一级计量机构进行计量检定，并有质量控制体系保证其精度。

仪器通过计量检定，可以确认仪器的测量精度保持在仪器标称指标之内，通俗的说法就是误差没有超出规定范围。计量检定除了需要计量体系中认可的计量标准器具外，对测试环境和人员资质都有一定的要求。计量本身不会改变仪器的特性，包括提升准确度，仪器需要通过校准才能真正提高测量准确度。仪器的校准通常是仪器误差超出允许范围或者仪器关键性部件发生变动，会直接影响仪器测量准确度、精确度时，才需要强制校准。

业余爱好者的常用校准方法

大部分电子爱好者出于经济因素考虑，极少与计量机构打交道，但想要知道自己手头的仪器测量是否准确，从而进一步校准手头的仪器达到理想的准确度，只能通过一些“土”办法来实现。

在业余条件下最常用的就是对比法，即找一台可以信任的同类型设备来测量同一个信号源，借以对比相互的差值。在技术允许的情况下，校准就是尽量将对比仪器的读数拉近信任仪器，使之相对差值最小。正规的仪器在出厂时都经过校准，厂家有一定的校准手段，所以理论上新仪器可信度比较高。不过，需要注意的是，即便是新开封的仪器，其测量准确度也不是绝对很高，一般厂家只是将仪器校准到指标标称允许的误差水平之内，对于一些低端仪器，绝对误差还是很明显的。如果你要找新仪器做准确度对比，最好用指标比自己仪器更高档次的产品。

业余条件下如何校准万用表

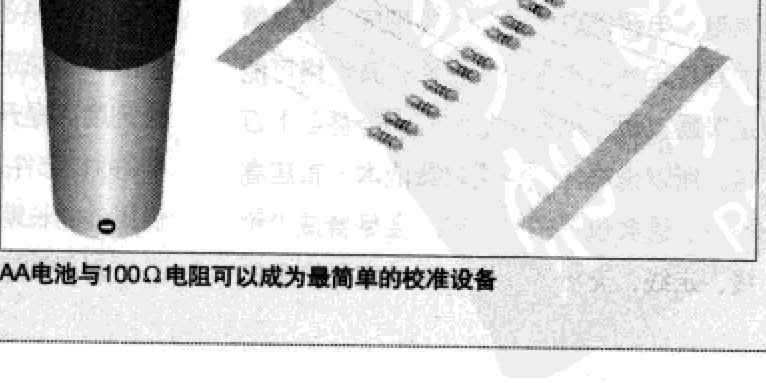
万用表的校准一般需要对直流电压挡、交流电压挡、直流电流挡、交流电流挡、电阻挡分别进行。业余条件下，万用表确认准确度常常采用对比法，就是找一款信任的万用表进行对比。

对比法

对比直流电压时，需要参考电压源具有一定的稳定度，通常建议使用一节容量充足的AA电池，带上100Ω左右的电阻负载作为简易参考电压源。电阻选用普通的1/4W以上普通色环电阻就可以，对电阻精度没有特别的要求。

电路中使用电阻负载是为减小电池端的输出波动。这种方法的优点是，AA电池和普通色环电阻廉价，且容易取得，电池供电直流成分纯正、整体电路简单、成本低，且易搭建。但缺点是电路没有准确的标称输出电压值。当然，如果你使用专用的标准电池就没有上述问题了，不过那一般是早期专业场合才用到的方法，非专业人士不容易买到。

对比电阻时，可选用一个定值电阻作为参考，原则上需要选择稳定性高的电阻产品，实际中简易对比测量，普通电阻也可使用，但需要注意的是，电阻与万用表必须可靠连接，测试时切勿用手接触电阻两端，否则会引入人体的不确定电阻。为了使电阻两端能与万用表可靠接触，又方便拆卸，“土”办法是在电阻两端的引脚上直接焊上鳄鱼夹，鳄鱼夹可以方便地咬住万用表表笔。如果对比的两款万用表使用的表棒插座相同，也可在参考电阻两端通过导线焊上对应的插头，这样参考电阻就能直接接入万用表测量端，进一步减少万用表表笔引入的影响，理论上效果更好。


AA电池与100Ω电阻可以成为最简单的校准设备

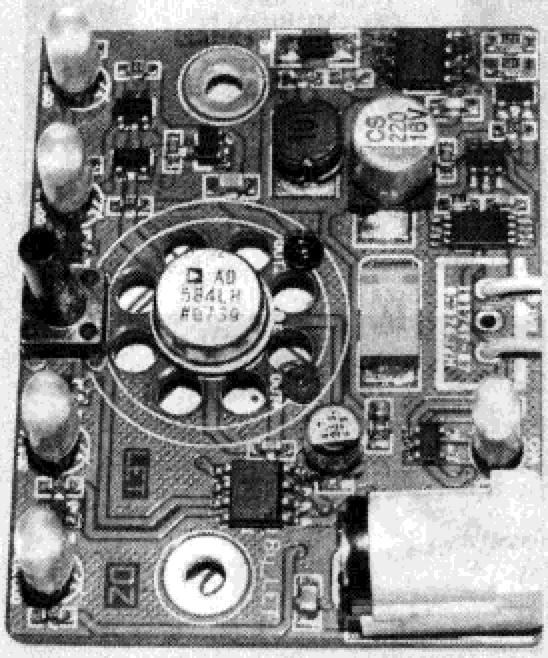
自制电压基准法

对于业余爱好者，能寻找到一部可信的、计量合格的对比仪器有一定困难，那么我们就自力更生寻找一些可用的参考电压源和参考电阻。有了可用的参考源用来确认仪器的测量准确度要比上面提到的对比法方便、可靠得多。

用电压基准集成块DIY简易电压基准就是一条捷径。常用的低价位电压基准推荐AD584LH，这是ANALOG DEVIES公司出品的电压参考基准。该集成块的3个引脚可输出2.5V、5V、10V三路高准确度电压，且外围电路十分简单，很方便DIY成具有2.5V、5V、7.5V、10V四挡输出的参考电压基准。

常见AD584有J、K、L三种后缀的产品，对应不同的输出精度，其中AD584L输出精度最高，按照厂家指标，10V挡输出的最大误差仅为5mV，2.5V挡输出的最大误差仅为2.5mV，温度系数为5×10^{-6}/℃。这样，业余电子爱好者以此器件DIY的参考电压基准无需校准，即使没有条件标定，误差也会很小，用来确认普通手持万用表的直流电压测量准确度基本没问题。

最令人高兴的是，DIY这样一个电路成本仅在二三十元，电路参考原厂Datasheet中的典型电路即可。制作时如果用

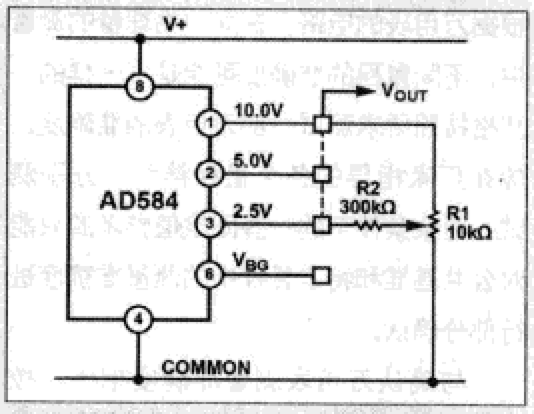

AD584LH基准模块

电池供电，将得到更好的性能。如果你不想动手，那么网上有些电子爱好者制作的成本板只卖不到40元。

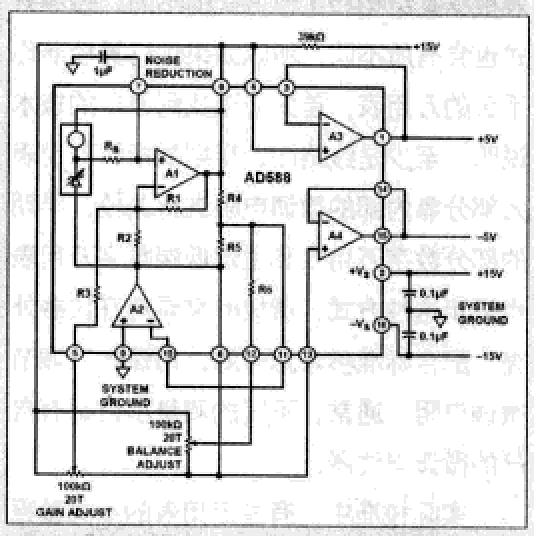
如果你觉得AD584温度系数和精度档次不够高，还可以考虑使用AD588BQ，电路同样也不复杂，其输出±5V和10V最大误差可以控制在1mV水平，温度系数典型值为1.5×10^{-6}/℃。

如果你拥有精度较高的五位半以上的台式万用表，需要精度更高的简易电压参考基准，可以考虑使用LTZ1000ACH为核心制作电压参考源。目前顶级的HP/Agilent 3458A八位半多用表内部基准板也采用此元器件。LTZ1000采用深埋技术实现高稳定度，自带的温度控制器温度系数可达0.05×10^{-6}/℃。LTZ1000典型工作电路也很简单，只是核心元器件成本要高一些，另外关键部位的电阻稳定性会对整体精度产生影响，高要求的朋友最好用一些高精度、低温漂的电阻。这些DIY的电压基准板在要求不高时可以直接使用，如果有条件进行标定更好。

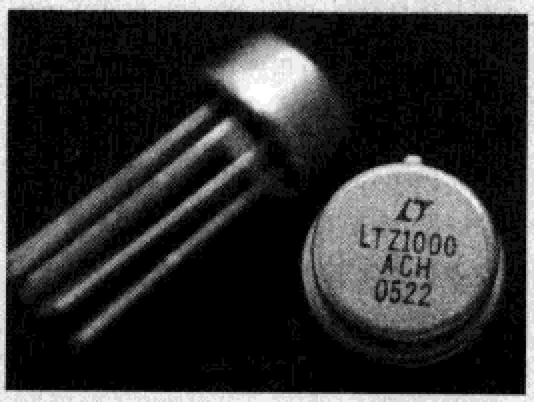
DIY简易参考电阻相对电压参考源要更为简单，核心就是一颗低温漂精密电阻。通常要求用来比对手持万用表的参考电阻精度优于0.01%、温漂优于5×10^{-6}/℃即可。市场上一些进口金属箔电阻可以满足我们的需要，笔者在电子城看到过进口的VISHAY的S系列0.005%精度1×10^{-6}低温漂电阻在卖，只是价格比较贵。此外，在二手市场上，有一些从FLUKE精密仪器中拆出来的二手高精密电阻，这些字标清楚的高精度、大个头电阻是难得的宝贝，尤其是一些标称阻值为1.999kΩ、19.999kΩ的电阻。在要求不高的情况下，这些高精度电子可以直接作为标准参考源使用，要求连接引线越短越好，线径尽量粗些，当然如果有条件对其标定则更好。当你有了可用的“标准源”，快速确认万用表测量准确度就变得非常简单，相当于对一个已知值的物理量进行测量，通过观察仪器读数的相对差值即可得到。



AD584基本接线图（截取自原厂数据手册）

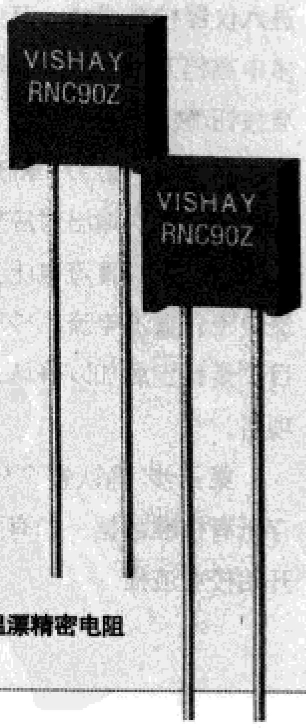


AD588典型接线图（截取自原厂数据手册）



LTZ1000

需要注意的是，实际应用中并不要求测量数据与理想数值完全一致，任何仪器都允许误差在指标范围内，再说DIY的简易基准源也并非毫无误差。另外，



VISHAY低温漂精密电阻

根据万用表的电路，在同一物理量的测量中，不同量程的准确度可能是不一样的，严格按照要求测试一部万用表的准确度，应在厂家指导的各个量程挡位中分别测试，业余条件下的一些固定值参考源只能对公共基准和特定量程中的测量准确度进行部分确认。

与确认万用表测量准确度相比，校准万用表的操作会复杂一些。不同的万用表根据其结构和工作方式的不同，校准方式也会有所不同，所以如果你打算校准你手头的万用表，首先应该找到原厂的技术说明，至少是线路图。早期的指针万用表大部分靠内部的微调电阻进行调校，早期的部分数字万用表和主流低端数字万用表也沿用这种方式，调校时需要打开仪器外壳，配合标准参考信号源，用螺丝刀调节微调电阻。通常，不同的测量项目都有自己的微调电位器。

实际校准中，有些万用表的不同量程需要独立校准，这就可能需要用到多个标准参考信号源输出值。现在很多单片机控制的中高档数字万用表完全改变了传统校准的理念，整个校准过程更像是对仪器进行重新标定。对于普通用户来说，如果没有FLUKE 5520A之类的专业校正仪器，很难在业余条件下执行完整的校准工作。

如某名牌手持万用表的校准过程是这样的：

第一步 通过特殊顺序按动一些按键进入仪器校准模式，有点像输入密码（很多中高档万用表是按机器后部封条下的校准按钮/触点）。

第二步 按照厂家校准流程，由万用表校准仪依次输出对应校准项目要求的各种交流电压、直流电压、电阻值状态、交流电流、直流电流，校准操作者在每个项目测量稳定后加以确认，并进入下一校准项目。

第三步 确认整个校准流程有效，保存所有校准数据，如有异常可放弃，重新开始校准流程。

业余条件下频率计的校准

频率计的校准主要是对频率计计数误差进行修正，提高仪器计数的准确度。数字频率计的准确度与其基准频率产生单元密切相关，校准频率计主要就是校准其基准。

校准数字频率计通常通过标准参考频率源来进行。频率计测量标准参考频率源的频率，然后校正其读数，使之与参考源标称频率数值尽量接近。大多数频率计的基准单元上都有一个调节孔，标有“adj”或“Cal”字样，这就是用来校准频率计的频率的，也有一些数字化控制程度高的频率计是通过软件菜单来进行校准操作的。此外，有的频率计提供了基准频率输出功能，通过此功能，可以利用另外一台频率计直接测量其基准频率，这提供了确认精度和校准的另外一个途径，频率计的基准准确度高了，那么频率计整体测量的准确度也就有了保障。

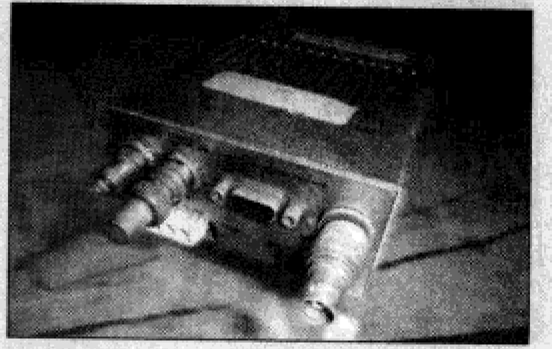
在业余条件下，如何获得相对可靠的参考频率源呢？常规方式是使用高稳定度晶体振荡器。通常TCXO温度补偿晶体振荡器、OCXO恒温晶体振荡器、铷原子振荡器、铯原子振荡器的频率稳定度依次提升。

一般低端的频率计，理论上用OCXO振荡器校准已经足以，用铷原子振荡器可谓杀鸡用牛刀。全新的高品质OCXO价格不菲，甚至会远超过一台中档频率计的价格，好在近年来在二手市场上出现很多拆机的二手OCXO和铷原子振荡器，使仪器爱好者有机会以低廉的价格获得高稳定度振荡器。二手的拆机OXCO大部分稳定度可以接受，价格也便宜，花几十块钱就能在网上淘到，但就怕被人乱调过，准确度无法保证，要买就建议买表面没有微调孔的OCXO。

相对而言，二手铷原子振荡器不但档次更高，而且准确度更有保障，很多铷原子振荡器频率的校准微调并不在明显位置，不容易被误动，而且可供调节的范围很小。二手市场上便宜的二手铷原子振荡器大约在三四百元。笔者比较推荐的是一种结合GPS科技的频标模块，其结构是以高等级TCXO或OCXO为基础，结合GPS，实现频率输出的高度准确性。其优点是通过GPS不断实时校准频率，确保输出频率的准确度，在业余条件下，不通过计量也能获得相对有保障的频率准确度。其典型产品有美国惠普的HP58540A。HP58540A时间频率参考接收机内置TCXO振荡器（部分产品内置OCXO振荡器），输出10MHz频率，并可通过GPS信号自动修正输出频率，具有很高的稳定度和准确度。

频率计基准调节孔

OCXO模块



HP58540A

业余条件下信号发生器的校准

信号发生器的校准主要有两个指标，一个是输出频率准确度，另一个是输出信号幅度。

对于采用频率合成技术的信号发生器，其输出频率准确度由频率基准所控制。频率合成信号发生器频率准确度校准，可将信号发生器输出连接到可信的频率计上，然后设置工作频率，并将信号发生器输出幅度设置到频率计可以稳定计数的水平，最后调节信号发生器内部频率基准单元，使得频率计读数尽量接近信号发生器显示数值。如果用户手头没有厂方的校准流程手册，在调校时可以有意将信号发生器的输出频率设置得高一些。这样，在调节信号发生器基准时，实际输出频率变化更明显些，有利于调校。

另外，早期有一类数显频率数字的信号发生器的核心频率产生电路是LC振荡器，其频率数字显示实际上是一个简易数字频率计，现在市场上有很多低端的函数信号发生器依然采用这种结构。这类信号发生器的输出频率准确度校准实际上就是对其频率计进行校准，校准其频率计的基准。

信号发生器的输出幅度校准可通过高频电压表、示波器、频谱仪、测量接收机等可以测量交流信号幅度的仪器来进行。为了提高测量准确度，如果测量仪器输入端口阻抗与信号发生器输出端口阻抗不一致，应该进行有效的匹配。如果使用示波器，实际测量工作频率最好控制在示波器标称最大工作带宽的1/2以下，以确保示波器幅度测量的准确性。调校信号发生器输出幅度，如果没有厂方流程手册，原则上调校后应该在多个工作频率点下验证，输出信号在大、中、小状态下的准确度都要顾及。

另外，信号发生器的频谱输出纯度可以通过频谱仪检测，检测当前工作频率的高次倍频谐波输出抑制情况和带外杂散情况。虽然一般信号发生器在设计上没有考虑对频谱输出纯度的调校，但可以及时发现滤波器的故障情况。

校准操作实战经验

不同厂家出品的仪器校准方法可能有所不同，老款的仪器可能需要打开机盖调节一些可变电位器或电容来校准参数，新款的仪器可能通过特殊操作进入校准操作界面，就能通过软件执行校准操作。所以在校准仪器前，应该对仪器校准的方法和需要的辅助参考仪器了然于心，切不可抱着试一试的心理随便调节仪器内部可调节部件，那样很容易越调越乱！

维修手册很重要

很多进口大牌仪器厂家都有配套的Service Manual，中文一般称之为“维修手册”，与普通随机提供的操作说明书不同的是，维修手册着重介绍设备的原理和电路，通常在维修手册中会有“calibration”（校准）章节，该章节就会讲述厂家指定的规范校准流程。也有的测量仪器厂家会将校准内容独立编成“校准手册”发行。

不要盲目相信名牌老仪器

大部分仪器爱好者对大牌的高档仪器向来是非常崇拜，认为高档仪器只要还能工作就一定继续保持其高精度，其实不然。任何高档仪器如果其基准受到影响而改变，那么其测量准确度必然也受到影响。基准受到影响可能有多种原因，包括各种外力因素的影响，也包括电子元器件自身老化带来的影响。正是由于存在这种不确定性，所以仪器需要通过定期计量来确认其依然保持精度。

出于经济原因，大部分个人仪器爱好者手里的高精度仪器都是通过二手渠道获得的，很多仪器早已是二手、三手……N手了，甚至还在洋垃圾堆里呆过，相当部分老仪器都已算得上“高龄”，远远超过厂家设计寿命期限，线路板上的电容干枯，容量下降十分普遍。部分仪器在流落过程中，经过第三方非正规的修理或调校，原厂封条早就被破坏。这样的仪器可能曾经也跻身高档仪器行列，但时隔多年，如果没有经过有效校准，很难保持当初出厂时的精度。由此，仪器爱好者在选择可信任的同类仪器做测量、对比标准时应慎重。在没有权威标准时，可以通过多台仪器交叉比对，相互印证。

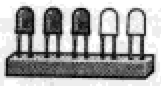
要注重细节

首先，标准源与被校准仪器都应充分预热，进入稳定状态后，再进行校准操作，有接地要求的仪器确保接地良好。能用闭路电缆连接的，尽量不要用开路空中感应的测试方法，尽量减少干扰。

其次，在高精度仪器校准中，要充分考虑连接线引入的影响。对于高位数万用表等电压/电流/电阻测量仪器，应考虑到连接测量线的内阻和接插件的接触电阻，业余条件下要求连接线线径粗、内阻小、连接端接触可靠、接触面积大。对于射频仪器，应充分考虑到连接电缆和接头的匹配情况，以及引入的高频损耗。

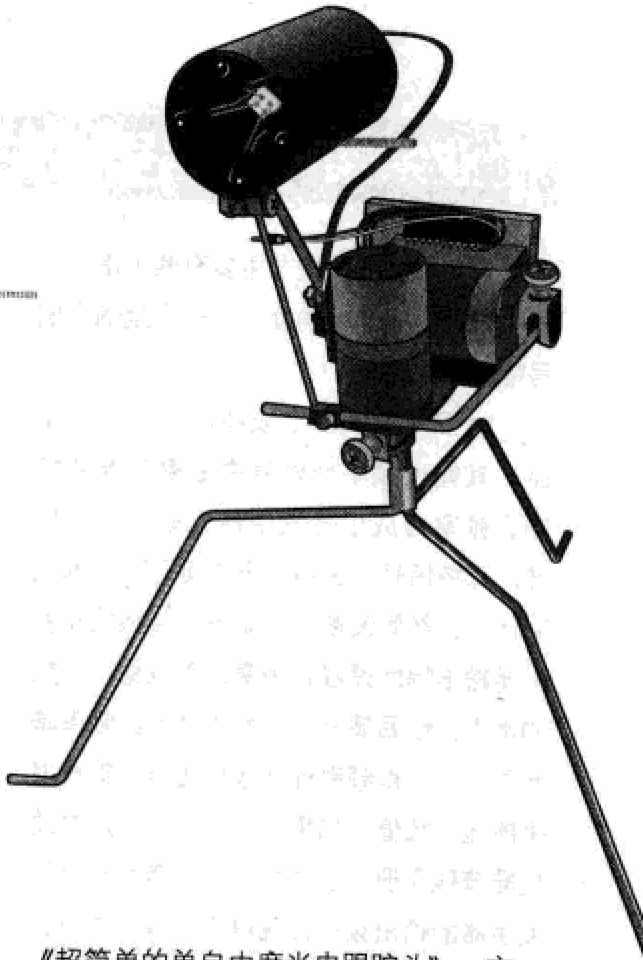
再次，细致调节。有的射频仪器调校要求使用无感螺丝刀，校准时盖上屏蔽罩，盖上机盖后，再比对一下仪器，读出数据，有的仪器测量结果确实会受到外罩的影响。

◇臧海波 ◇插画：刘少冉



玩转跟踪伺服 2

可以锁定目标的2自由度光电跟踪头



本文紧跟《超简单的单自由度光电跟踪头》中的内容，继续向读者介绍一种可以锁定目标的2自由度光电跟踪头的制作方法。与前一个单自由度光电跟踪头相比，这个升级版的光电跟踪头运动范围更大（纵向运动可以比拟人类的视野，水平可以360°旋转），结构更加复杂，效果也更酷。

话说笔者还是个FPS游戏玩家，这个光电跟踪头的结构设计受《使命召唤6：现代战争2（MW2）》中自动机枪的启发，采用了比较复杂的连杆机构。这样的结构使这个机器人运动的效果带有一点超现实色彩。想象一下吧，在自己家的桌子上摆这么一个东西，那些游戏发烧友们看到它时的表情一定很精彩！

2自由度光电跟踪头的整体制作仍然贯彻以往的制作方针，即低成本、高趣味性和艺术性。跟踪头的核心部分由两个独立的神经元电路分别控制的两个电机组成，因为采用了比较高级的模拟神经元电路，相对于前一个以数字逻辑控制的跟踪头，它的运动变得更加“聪明”。

光电跟踪头使用两只电机驱动，在制作上增加了不小的难度。但是对于喜欢动手制作的“魔术师”来说，有难度才有激情！引用《妙警贼探》里的一句话，就是：“It makes the world go round（是激情让地球运转的）。”

下面正式开始制作这个2自由度光电跟踪头。

光电跟踪头感光元件的选择方法参见《超简单的单自由度光电跟踪头》一文。

74HC240在这里作为两组神经元电路使用，为了使神经元可以驱动减速电机，还需要配备双向电机驱动电路。我在制作中使用的是74HC245三态总线收发器，你也可以使用74HC240、以分立元件构成的H桥，或其他专用的电机驱动IC。

74HC245是我个人比较喜欢的一块代用型双向电机驱动芯片。和74HC240一样，它里面的每个缓冲器的输出电流也是±35mA，为了驱动电机，同样需要多组缓冲器并联使用。它的优点是芯片

材料准备

图1 制作2自由度光电跟踪头结构部分所需的材料和工具

图2 制作2自由度光电跟踪头电子部分所需的元器件

材料：

>> 74HC240	1片
>> 74HC245	2片
（也可以使用 74HC240、H 桥，或其他专用的电机驱动 IC）	
>> 红外线接收二极管	4只
>> 0.22 μF无极电容	4只
>> 2.2MΩ电阻	2个
>> 3.3kΩ电阻	2个
>> 锂电池	1块
>> 减速电机	2只
>> 车条	5~6根
>> 端子芯（连杆机构）	4个
>> 空开开关端子（电机轴连器）	2 个
>> 曲别针	2~3个
>> 铝板或铁板	边角料两小块
>> M3螺丝、锁紧螺母、垫片	适量
>> 手机充电器	1个
>> 导线	适量
>> 排针、排座	2位
>> 2×2孔洞洞板	1块
>> 黑色胶卷盒或其他遮光材料	适量
>> M4 拉铆钉	2根
>> 0.1 μF无极电容（可选）	2只

工具：

- >> 焊台、焊锡
- >> 止血钳
- >> 放大镜架子
- >> 75W外热烙铁
- >> 台钻或手枪钻、M4.3钻头
- >> 台钳、平口钳
- >> 什锦锉
- >> 橡皮锤
- >> 拉铆枪
- >> 记号笔
- >> 卡尺

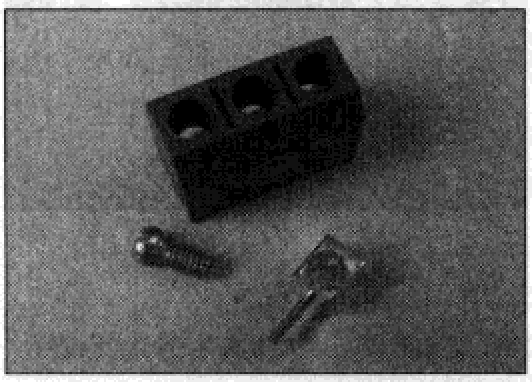


图4 从蓝色接线端子里拆出的铜芯

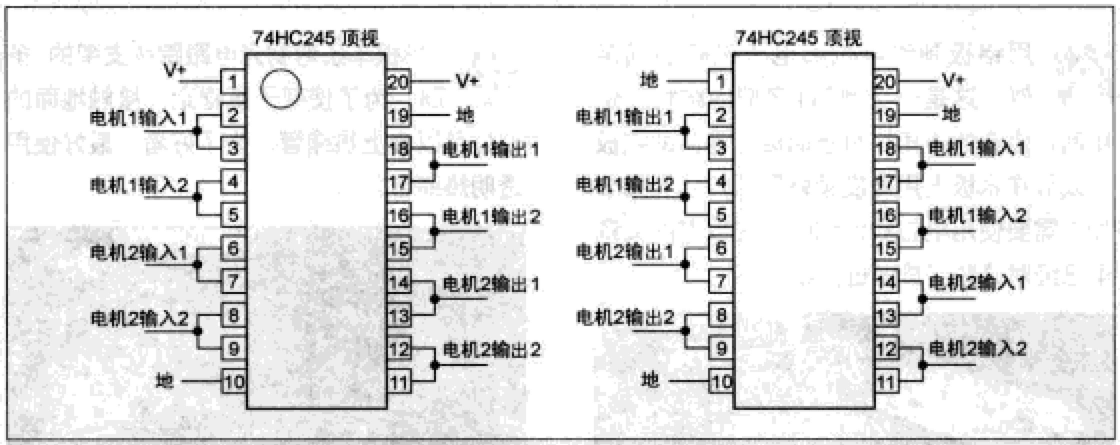


图3 74HC245作为小型双向电机驱动接线图

引脚的排列方式非常方便走线（相对于74HC240），只需要用少量的跳线就可以把它改装成一块不错的双向电机驱动模块。

74HC245的跳线方式见图3。因为是收发器，这个电路有两种方向不同的接法，这使得芯片上的缠绕焊接变得非常灵活，你可以选择让芯片的正面或背面露在外面（从美观和艺术的角度考虑）。

图3左侧是我常用的接法。第10、19脚的接地线可以在芯片背面做一根跳线，第1、20脚电源正极的跳线可以做在芯片侧面。两只电机的4路输入、输出布局很清晰，将对应引脚就近短接在一起就可以了。单个芯片连接，电机每相的最大电流是±70mA，稍显不足，一般要把两片74HC245并联起来使用。

74HC245内部集成了16个缓冲器，由第1、19脚的使能端进行选通控制。如果你想进一步了解详细资料，可以参考芯片手册中的真值表和逻辑框图。

电机为小型机器人常用的中型减速电机，标称电压6V，要求电机的转速低于30r/min。这次使用中型电机是从整体设计考虑的，你也可以用N20电机制作一个缩小版。电路使用一块3.7V的锂电池供电，电机实际工作时的转速还会更低。

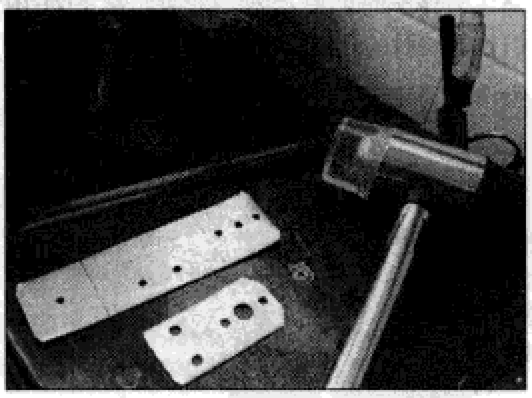
端子芯取自工业连接器里面的接线排座。端子芯的结构和使用方法参见前面的文章。从常见的蓝色接线端子里拆出的铜芯如图4所示。

空气开关的端子作为电机轴连器使用，这次我使用的电机输出轴颈为5mm，只有空气开关这种大电流器件里面的端子才能保证足够的安装空间。

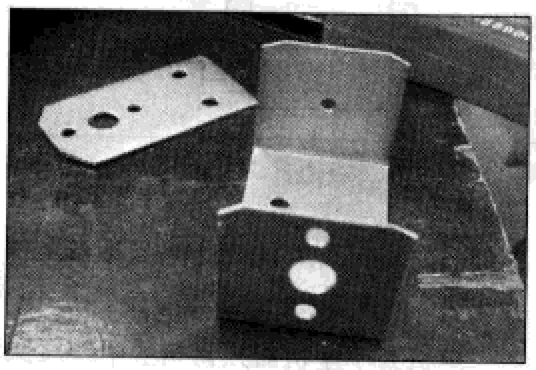
锂电池和充电器的介绍见上期文章中的内容。机器人使用两位镀金排针、排座作为充电接口。

制作过程

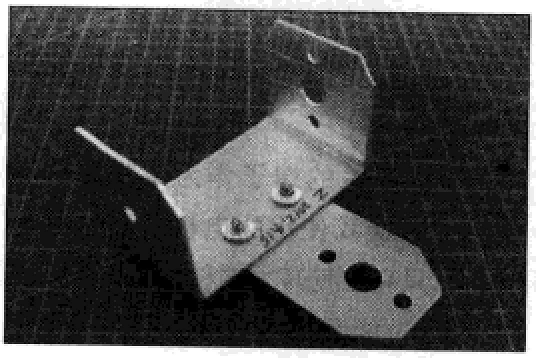
1 首先制作光电跟踪头的结构部分。结构部分简单说就是一个固定不动的2自由度云台。这种云台在监控设备中很常见，主要零件是两个舵机和两个结构件。为了获得更明显的艺术效果，我采取了化简为繁的设计，加入了一组连杆，使它看起来机械味道更浓一些。



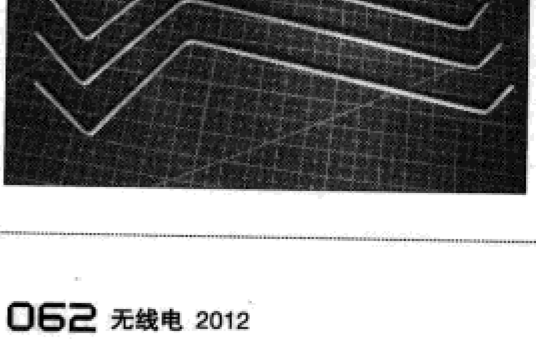
2 用铝板制作电机和电子设备的固定架。这是一个类似T字型的结构，使用两片废弃的边角料拼接而成。卷曲的铝板可以放在木板上用橡皮锤敲平，打孔和细节加工需要使用电钻和什锦锉，在以前的文章里已经对这些工具做过介绍。



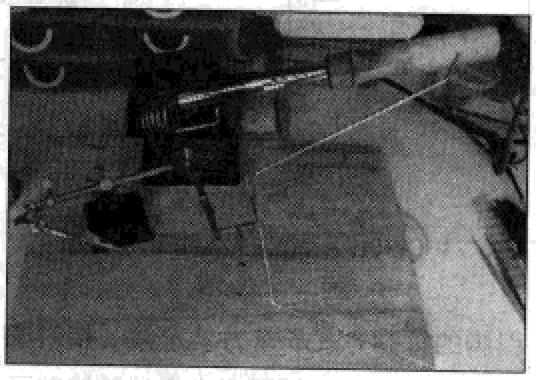
3 材料比较小，可以直接用平口钳折弯。如果你追求完美，还是按照惯例，在台钳上进行操作吧。图中折弯的U型框架是纵向电机的固定架，靠近读者的是输出轴的一侧，另一侧的孔是电机的虚轴。



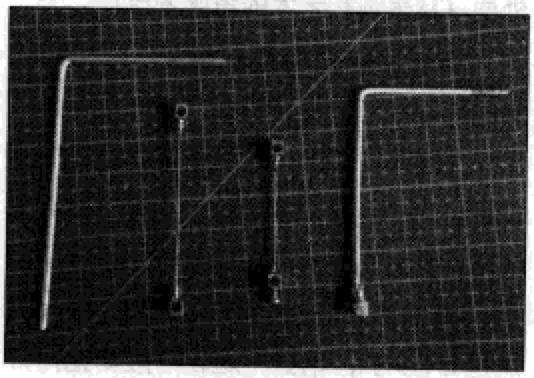
4 将两个零件用铆钉固定在一起。在构思这个跟踪头的结构时，正好赶上泰坦尼克失事100周年，一觉醒来，收音机的早间新闻里正在八卦沉船原因，其中一个说法是船体使用的铆钉规格缩水。这条新闻正好提醒了我，玩了这么多年无线电和手工制作，竟然还没用过拉铆工具呢！于是就有了这个铆接结构的固定架，上面的两个M4铆钉也算是我的开铆纪念了。



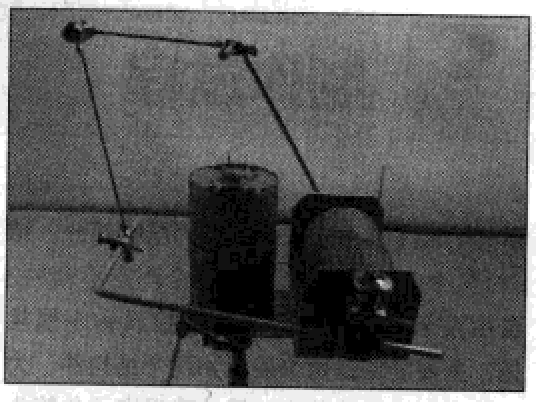
5 用3根车条弯制光电跟踪头支架的3条腿。为了使架子更稳定，接触地面的部位可以套上热缩管，为了好看，最好使用透明热缩管。



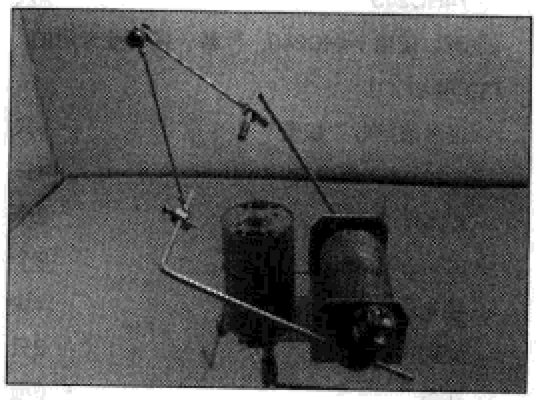
6 将3条腿用曲别针绑在一起，用75W烙铁进行焊接。因为材料比较大，这个步骤有一定难度。用大功率烙铁将结合部位均匀加热，再使焊锡慢慢渗入到里面，烧焦的松香可以轻轻敲掉，以保持外表的美观。焊接过程中架子比较热，小心烫伤！



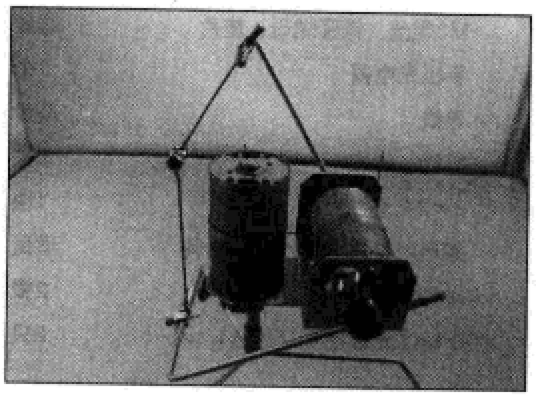
7 用车条、曲别针和端子芯制作跟踪头的连杆部分。两个倒L型结构件分别是纵轴电机输出轴和虚轴的连杆。



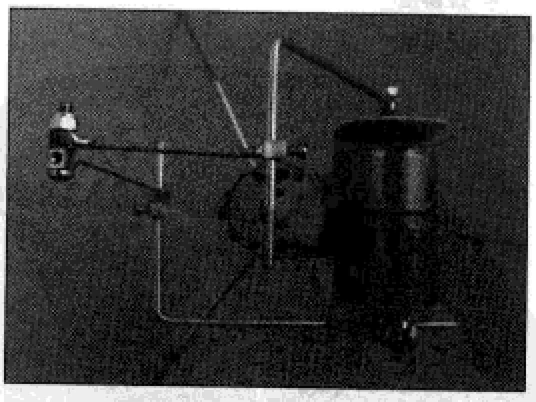
8 将结构部分组合在一起，图示为跟踪头“平视”的姿态。



9 图示为跟踪头仰视的姿态。



10 图示为跟踪头顶视图。从图中可以看到这几个连杆之间互相配合的细节。在这套连杆中，电机虚轴的倒L型结构件是固定在架子上的，其他3个结构件是跟随纵轴电机运动的。连杆结合部位的“轴承”使用端子芯代替，用锁紧螺母固定好，并留有余量。这个结构的俯仰角范围大概为150°。



注：拉铆钉的正确操作应该是将铆钉的尾巴持续拉出，直到拉断。因为我使用的铝板比较薄，怕力度过大造成材料开裂，就采取了拉到一定程度后剪尾的做法。

接下来制作电子部分。2自由度光电跟踪头的电子部分由两个独立（电路部分独立、机械部分关联）的神经元电路构成，如图5所示。

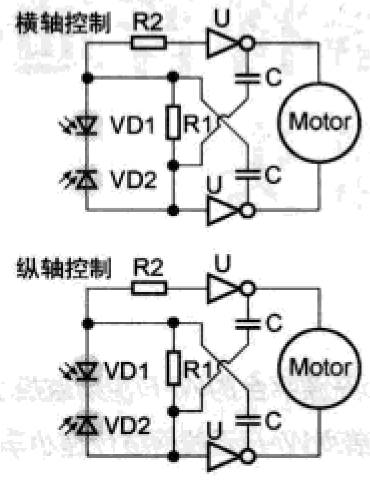
神经元电路可以看成一个4个端子的模块，有两个输入端、两个输出端。图5中的U（74HC240）和C（0.22μF电容）构成了神经元模块。

简单理解，神经元模块在工作时会从正反两个方向（在这个跟踪头里，就是两只红外线接收二极管VD1和VD2）扫描输入设备。因为扫描是双向进行的，二极管可以负极对负极接入电路，也可以正极对正极接入电路。

输出端接电机（需要配双向驱动电路），电机是正、反、正、反交替运转的。电机转动的幅度受输入设备的控制。比如VD1受光线照射，VD1这个方向扫描的电阻降低，由此带动电机在VD1这个方向的转动幅度增加（VD1和VD2的安装位置和电机的极性是关联的，可根据实际情况进行调整）。

电阻R1和R2是输入补偿元件，用来调节神经元在极暗或极亮的光线下的振荡频率，防止模块锁死。在材料表中给出的数值是典型值，还需要根据机械部分的实际运动效果进行微调。

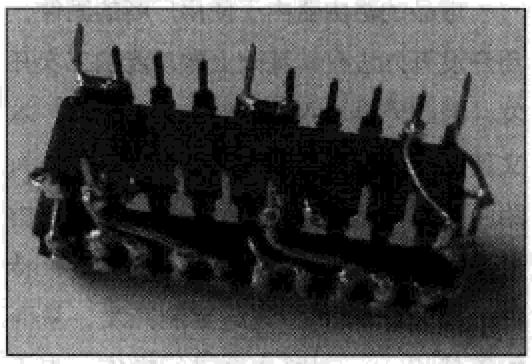
另外值得一提的是，Mark Tilden曾经提出将神经元技术应用在卫星后备系统中的设想，由此也可以看出这个简单电路所具有的潜力。以我的制作经验来看，这种控制方法在可靠性和适应性上都超过目前的单片机。此外，神经元模块的输入端可以连接任何东西，比如电阻、逻辑电路、传感器，甚至是另一个或多个神经元，还可以组成复杂的网络。在以后的制作中，我将尝试用神经元组网控制更复杂的机器人。



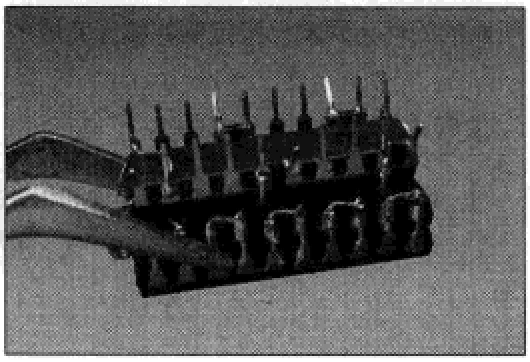
注:反相器为74HC240,电机需要独立的双向驱动电路。

图5 2自由度光电跟踪头的电子部分

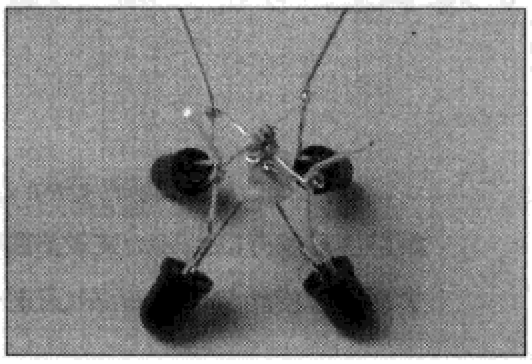
11 焊接核心模块。这个步骤比较符合焊接狂人的口味：由3个芯片、4个电容、几根跳线构成的模块，足够杀死N多脑细胞，并使你的焊接技术面临严峻的考验了！为了使模块看起来更简练，我使用了0805封装的电容，卡在管脚根部焊接，这个搭配堪称完美！



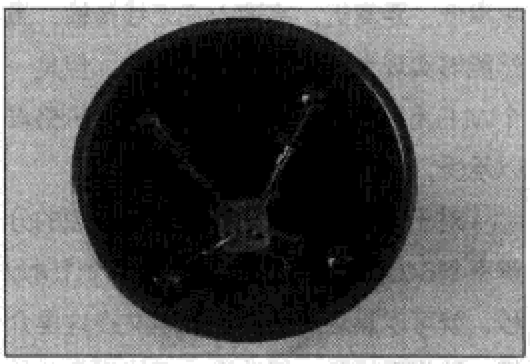
12 从这个角度可以看出3个芯片的关系。上面是74HC240构成的神经元，下面两个叠加在一起的是74HC245电机驱动模块。还可以看到74HC245芯片上面两个、两个短接在一起，一共4组的电机驱动输出。



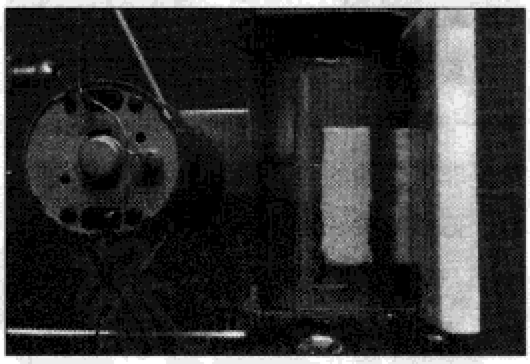
13 将4只红外线接收二极管焊接在2×2的洞洞板上，洞洞板起到了定位作用。神经元的补偿电阻R1可以跨接在引脚之间，可以起到结构加固的作用。



14 为了降低杂散光线的干扰，将感光组件安装在一个黑色的胶卷盒里。注意4个红外线接收二极管是上下、左右排列的，分别检测横轴和纵轴的光线。



15 最后进行电子部分的总装。



注：不用太纠结书本上经常提到的CMOS集成电路容易被静电击穿的问题。我焊接了不下20个这种形式的控制核心，没出现过任何问题。只要注意拿芯片之前，先用手摸一下铁机箱、水管这类比较大的金属物体就可以了。如果还不放心，可以使用ESD（抗静电）焊台进行焊接。

利用无线路由器将普通摄像头改造成无线摄像头

◇蒋瑞挺

本刊2011年第8期刊登的《基于Arduino开源平台的Wi-Fi视频监控小车》一文中，曾提及利用基于Linux的第三方开源路由器固件OpenWrt来改造路由器，用以借助Wi-Fi无线网络传递小车上的摄像头所拍摄的画面。不过当时重点在于整个系统的设计，对OpenWrt只是一笔代过，本期我们就来详细了解OpenWrt的使用方法。

制作无线视频小车或航拍飞行器，如何实现低成本、高质量的无线视频传输，一直是困扰制作者的大问题。使用廉价低速的2.4GHz无线传输，图像小、帧率低、距离近。高速Wi-Fi无线传输，虽然能够实现大图像、高帧率传输，但是一个Wi-Fi无线摄像头大多要上千元，价格难以承受。

对于大部分应用来说，无线视频的分辨率到640像素×480像素，帧率到15帧/秒，就可以满足需要。因此本文在这里介绍一种将无线路由器改造成无线摄像头的方案，该方案具有成本低廉、实现简单的特点，适合长距离无线视频传输。

硬件设备

要改装无线摄像头，需要两个硬件设备——无线路由器与USB摄像头。这两个都是非常普通的电子产品，但是由于要挂载USB摄像头，因此路由器必须配有USB HOST接口。本文采用的无线路由器是一款二手的DB120-WG，如图1所示。该路由器有两个USB HOST接口，二手货的价格不到百元。由于需要进行视频方面的应用，DB120-WG自带的RAM明显不够用，因此本人将RAM升级到了32MB。

目前市面上的USB摄像头品牌繁多，所用芯片组也各不一样，本方案对USB摄像头有一定要求，必须是Linux下能驱动使用的，因此采用的是中星微301P芯片驱动的摄像头，如图2所示。该款摄像头的Linux驱动已经由开源爱好者开发，效果与在Windows下没有多大的差别。

整个设备的连接非常简单，给无线路由器上电后，将USB摄像头插入无线路由器的USB口就可以正常工作。

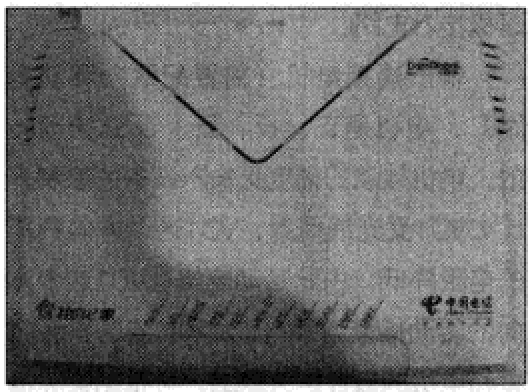


图1 DB120-WG无线路由器

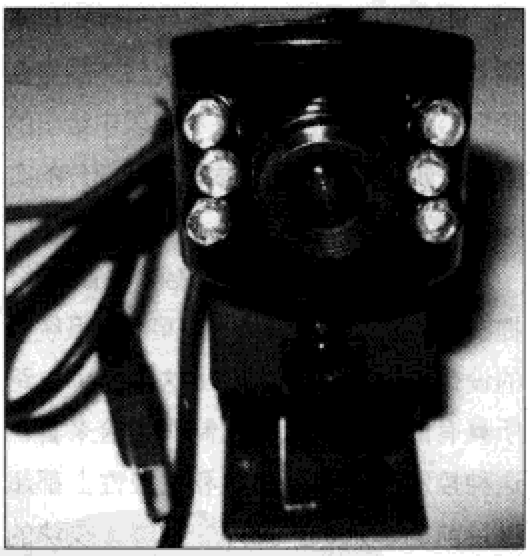


图2 USB摄像头

软件安装

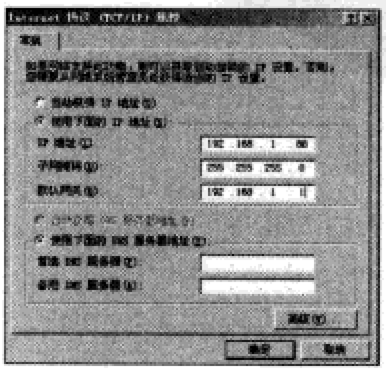
成品的路由器由于使用厂商的固件，用户没有办法在其基础上做功能的二次开发，因此需要写入开源的路由器固件。本文使用开源路由器操作系统OpenWrt作为路由器固件，OpenWrt是基于Linux的路由器专用操作系统，它根据路由器的硬件特性，将开源的Linux进行定制开发，从而能够使用Linux对路由器进行操作。由于Linux是开源的，且具有可扩展性，用户可以在路由器上做二次开发，拓展它的功能。

本方案就是要在OpenWrt上，进行USB摄像头挂载以及视频传输的开发工作，这部分工作已经有人实现，我们只需要安装相关软件就可以使用。本文路由器所刷的固件为网友已经定制并编译完成的OpenWrt烧录文件：db120-OpenWrt.org.cn-10.03.396-DIY-mini-0218.bin。

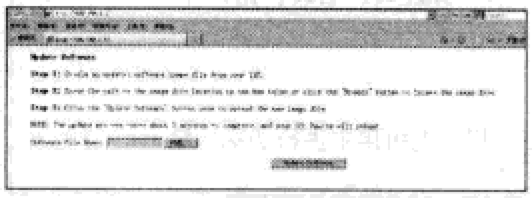
该版本固件具有以下特点：

1 集成USB 摄像头监控内核模块和相关的应用程序usbutils。
2 支持视频监控工具mjpg-streamer，增加相应的Web设置工具。

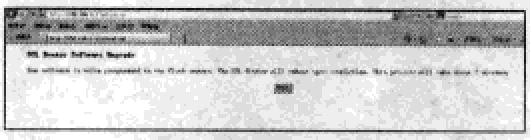
1 按住RST（复位键）不放，给无线路由器上电，此时电源指示灯为绿色，一直按住直到电源指示灯变为红色，这时表明路由器复位成功，可以烧录固件。将网线一头接入路由器的LAN4口（靠近电源插头），一头接入电脑网口。将电脑网卡的IP设为192.168.1.88，子网掩码设为255.255.255.0，网关设为192.168.1.1，DNS不需要设置。



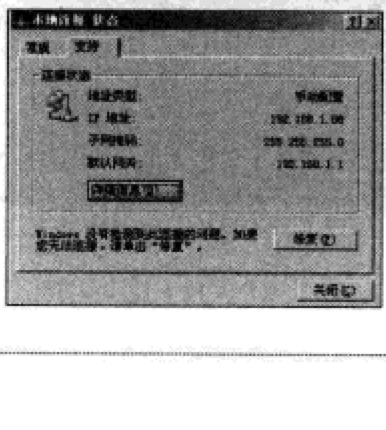
2 完成后，可以使用命令“ping 192.168.1.1”验证电脑与无线路由器的通信是否正常。验证完后，在IE地址栏输入“192.168.1.1”即进入固件升级界面。



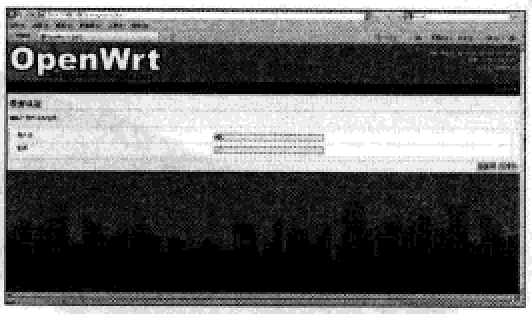
3 点击“浏览”按钮，选择OpenWrt烧录文件，注意路径不要包含中文，然后点击“Update Software”按钮，即会出现如图所示的升级等待的界面。



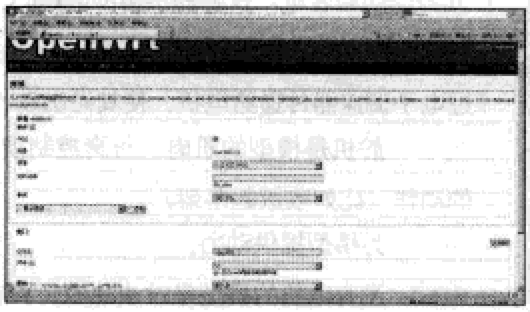
4 无线路由器指示灯从红色转为绿色，即表明固件升级成功。再把网线接入LAN1至LAN3中的任意一个接口，使用命令“ping 192.168.1.1”验证通信是否正常。如果一直无法ping通，请尝试使用“修复”按钮，之后网络一般都会变得正常。



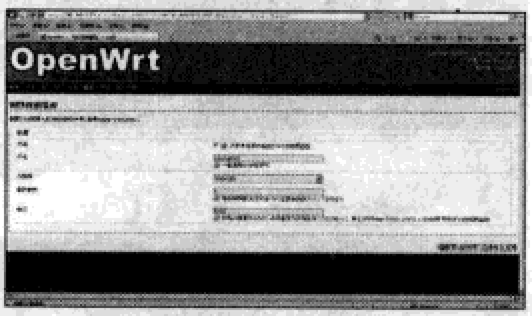
5 在IE地址栏输入“192.168.1.1”即进入登录界面，输入用户名root，密码admin，点击“登录”按钮，即进入路由器设置界面。



6 无线路由器的设置基本不需要改动，但是针对无线视频传输，有两个地方必须修改。首先要启用无线功能，进入“网络”菜单下的“wifi”子菜单的“RADIO0”选项，选中“开启”复选框，然后点击“保存&应用”按钮。



7 其次要开启Web视频监控功能，用于浏览无线视频。进入“服务”菜单下的“WEB视频监控”子菜单，选中“开启”复选框，然后点击“保存&应用”按钮。至此无线路由器的升级及设置已经完成，接下来就可以正常使用了。

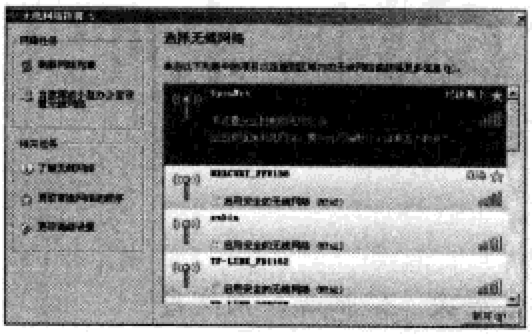


总结

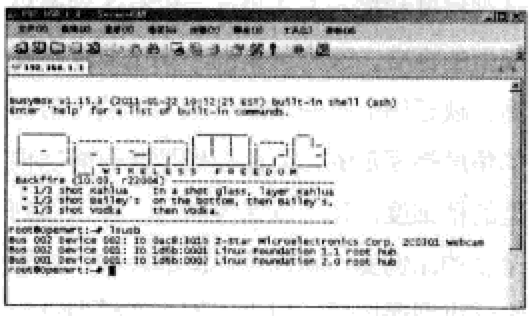
不到200元的硬件成本，即可实现640像素×480像素的无线视频传输，可以说性价比极高。本人在使用中发现视频播放非常流畅，而且传输距离较长。当然，由于USB摄像头本身的视频采集能力问题，该方法还是有些缺陷：

使用

1 开启电脑的无线网卡，搜索无线网络，可以看到有个名字为OpenWrt的无线网络，双击它进行连接，便可以与无线路由器进行正常的无线网络通信。



2 将USB摄像头插入到无线路由器的USB口，为了查看摄像头是否正常识别，需要使用SecureCRT工具远程登录无线路由器进行查看。采用SSH2方式登陆，用户名为root，密码为admin，然后使用命令lsusb查看当前是否加载了USB摄像头。



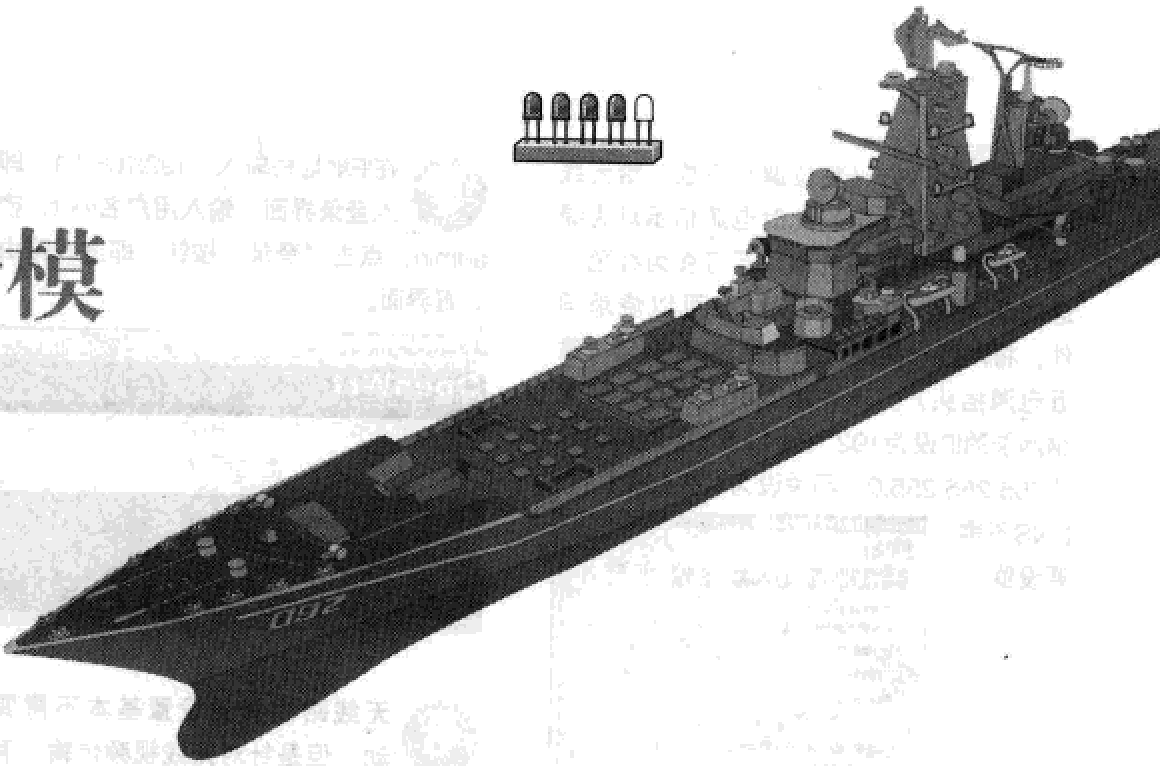
3 此时就可以远程查看视频了，由于IE不支持在线视频浏览，因此需要别的浏览器来观看视频。本文使用开源、免费的Firefox，安装完后，输入地址http://192.168.1.1:8080/?action=stream即可看到视频。

缺陷

1 分辨率有限，无法达到高清画质要求。
2 图像质量不是很好，低照度下噪点严重，甚至无法看清物体。
3 路由器的功耗较大，用电池供电的运行时间有限。

1：700基洛夫级巡洋舰模型遥控化改造记

让你的静态船模动起来吧！



◇冯奕 ◇插画：刘少冉

当今市面上有很多小型的遥控玩具，如小型遥控直升机、小型遥控潜水艇等，却很少有小型遥控船，遥控船的尺寸一般都在40cm以上。而且遥控玩具的精细程度和控制方法也远远没有达到遥控模型的标准。遥控玩具的外观仿真度不够高，缺乏细节，速度是单一变化的，转向的角度是固定的，而遥控模型既有静态模型的精细度，又可以遥控航行，可以做到速度的比例变化和任意角度的转向。如果想玩小型遥控船，用小比例静态模型进行改造是个不错的做法。

有了如图1所示的遥控设备，就可以开始改造静态模型了。我选用的静态模型是小号手1：700比例的前苏联海军基洛夫级核动力导弹巡洋舰，如图2所示，它价格便宜，而且外观威武，船体细节也不错。

模型长36cm，宽4.1cm，额定满载排水量70.8g，是名副其实的小船。1：700比例的船模，除了战列舰和航空母舰稍微大一些外，其他的都很小，所以一般改成遥控的模型都使用1：350比例的，长度在50~90cm左右，排水量在200~2100g。大船固然在航行上面有优势，但是精巧的小船更有其可爱之处，浴缸、鱼缸、小水池都可以航行，不用像大船那样要去河中或者湖中放行。

改装成遥控模型需要增加哪些部件呢？

1 **遥控器和接收机**：这是动态模型的核心，好比是模型的大脑。
2 **电子调速器**：用来给你的车、船、飞机等提供动力，通常简称为电调。电池的动力通过电子调速器传递给电机，使其做出动作。
3 **舵机**：舵机是模型的肌肉，负责控制模型的动作，如左转、右转、俯仰和一些更高级的动作（比如收放起落架）。
4 **电池**：为模型提供动力。
5 **电机**：没有电机的模型是没法动的，和舵机不一样，电机用来进行功率的输出。

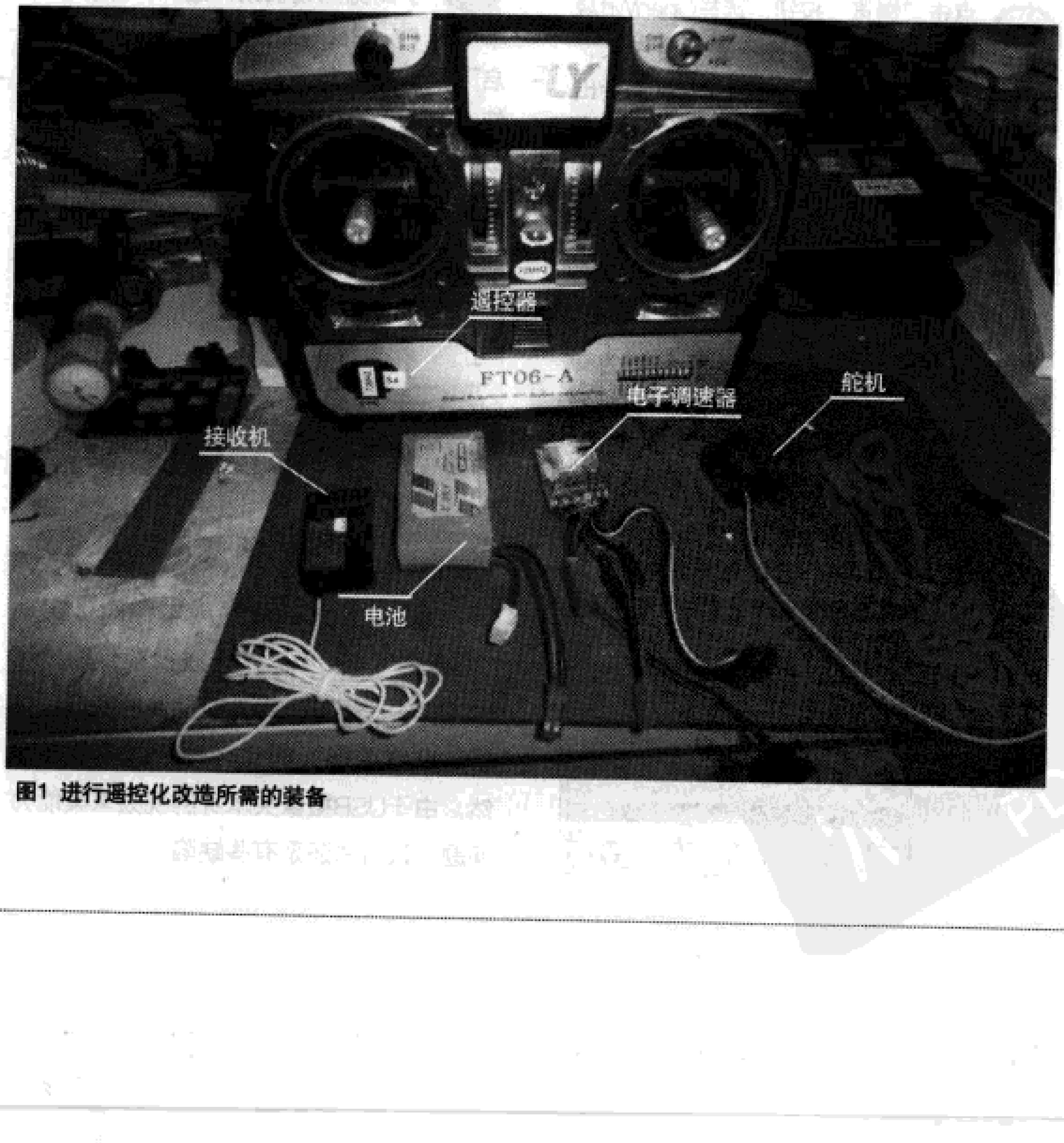


图1 进行遥控化改造所需的装备

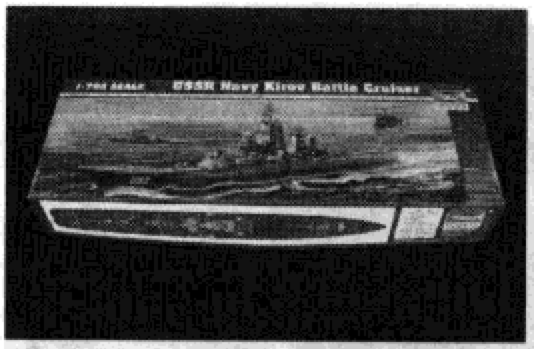


图2 小号手1：700基洛夫级核动力导弹巡洋舰模型

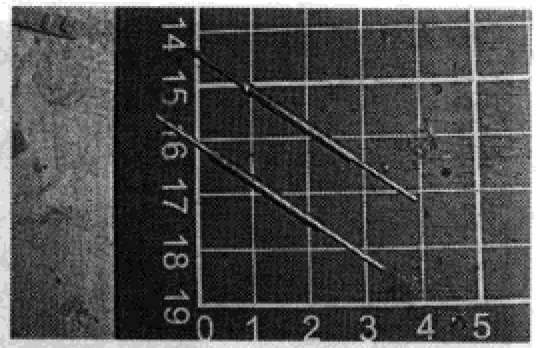


图3 船轴和轴套管

轴系的制作

要想让船动起来，就要改装船轴和舵。船轴的作用是连接电机和螺旋桨，将电机的动力传递给螺旋桨。这样小的船只能用1mm的轴，我采用的是1mm直径的不锈钢棒。为了保证船的仿真性，我采用和真实的基洛夫级巡洋舰一样的双轴推进方式。

有船轴就要有轴套管，轴套管的作用是固定船轴，起一定的防水作用，并减少轴的摇摆，减少摩擦力。我选用的是内径1mm、外径1.5mm的铜管，如图3所示。

船轴不需要太长，只需取电机到螺旋桨的距离那么长即可，螺旋桨的位置以原来静态模型螺旋桨的位置为准。轴套管的长度要比船轴短，给船轴留下装螺旋桨和联轴器的长度。

螺旋桨仍旧采用静态模型的螺旋桨，它的内口径刚好为1mm，和轴配合得很好。采用原装的螺旋桨会更好地还原实物，并且原装的螺旋桨的推进效果更加接近实物。为了在航行的时候确保螺旋桨不会脱落，在螺旋桨和船轴的结合部要涂上万能胶。这样轴系部分基本上就算制作完成了。

电机的选择

想让模型动起来，就要装备电机。这个船模非常小，遥控模型常用的130电机、180电机都过大，无法装配，所以电机有两个选择——N20电机和空心杯电机。这两种电机是从小型遥控直升机上拆下来的，非常小，长度在10mm左右，如图4所示。

图4 左边是N20电机，上面是空心杯电机，右边是制作完成的轴系

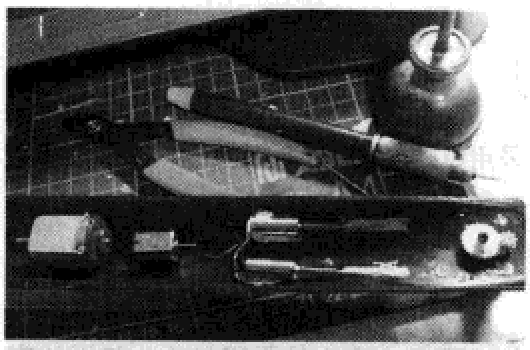
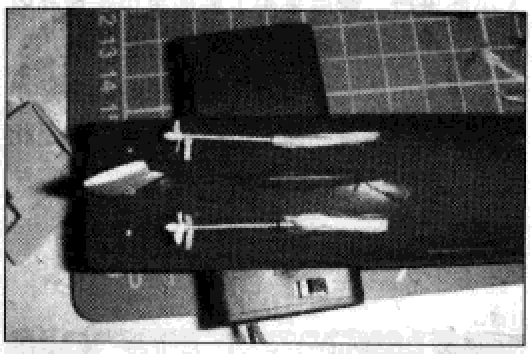


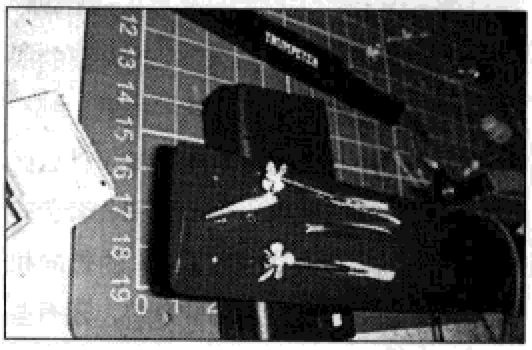
图5 从左起依次为130电机（四驱车里的）、N20电机、空心杯电机（并列安装两个），可以看出，相对我的船来说，还是空心杯电机的大小最合适

由于船小，所以所需的驱动功率也非常小，无论哪种电机都可以完全胜任工作。空心杯电机比N20电机更小、更轻，但是扭力很低，用来改装这艘船也够用了，所以我还是选择了空心杯电机。由于这种电机的额定电压为3.7V，而我的电子调速器提供的电压是7.4V，所以我将两个电机串联起来。一般情况下，双电机推进的船模都是并联电机，但是船小，不需要如此高的电压，3.7V足够驱动，而且也防止堵转烧毁电机，所以采用了串联模式。为了表明各种电机的大小，我以船体为背景进行了一个比对，如图5所示。

动力部分的安装

1. 制作完轴系之后，需要把轴系安装到船体上。首先，要根据安装的角度在船底上打出相应的安装槽，然后将轴系装进去，以静态模型的轴角度为基准，调整好轴系的安装角度。最后用AB补土将轴套与船底安装在一起。一定要保证两套轴系安装平行。





2. 轴套管安装在船底上，微微发黄的东西就是AB补土。这种材料有一定的塑性时间，涂抹上之后，有足够的时间进行调整。静态模型中给了支撑轴的人字架，它可以提供一定的支撑，并提供轴的固定位置。船底上其余不需要的小孔就用补土填上，防止漏水。船轴与电机的连接一般有两种方式——金属万向节或软管，因为根本没有1mm的金属万向节，所以采用了软管连接。所谓的软管，只不过是一截1mm内径的电线皮而已，要保证连轴软管、船轴和电机之间不打滑，不丧失动力。在电机和轴的连接位置，软管内部都涂了胶水。

③ 由于在工作时，轴会对外壳产生一个反作用力，电机如果不固定，便会旋转。为了保证良好的动力效果，电机与轴系要在一条线上，通过启动电机来确定最小阻力位置，然后用快干型的AB补土粘住，这样的好处是补土在干的过程中还可以调整电机的位置。两个电机分别连接两个轴，因为船很小，所以加装齿轮箱是很划不来的事情，原本想用的皮带传动也由于宽度太小而流产，最后采用了最简单也是最高效的办法——直接驱动。实际上，由于船小，这些非常小的电机相对来说也是动力充足，不需要减速系统。两个电机旋转的方向是相反的，所以接线的时候要注意方向。

图6 双舵连接（左图）和单舵连接（右图）

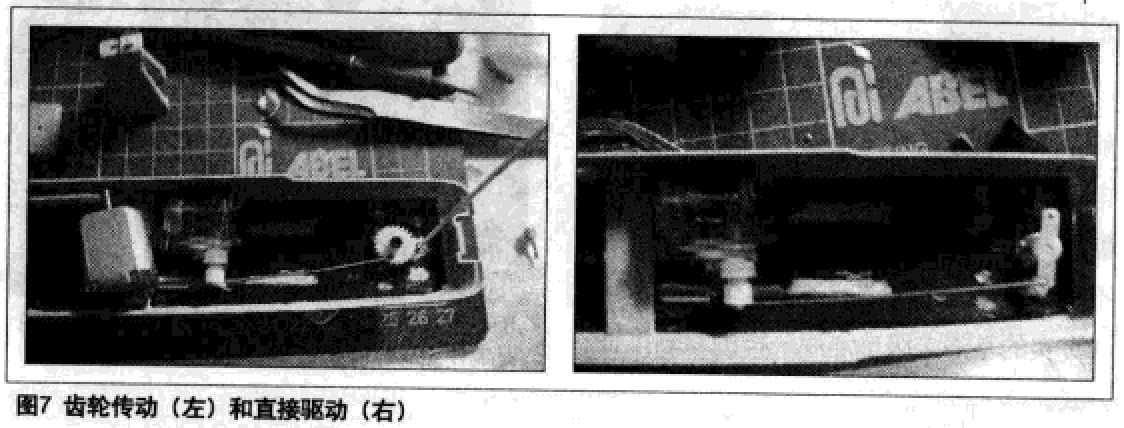


图7 齿轮传动（左）和直接驱动（右）

转向部分的选择与安装

正如开篇所说的，舵机是模型的肌肉，如果一艘遥控船不能转向的话，那么它和一个小孩儿玩的直航玩具就没什么区别了。有些模型采用一个电机和一套齿轮组进行转向，比如很多遥控车的转向机构、一些简易的遥控船的舵系统，还有些模型省去了舵机，利用两个电机的转速差来达到转向的目的，这种方法相对于较宽的船体是比较适合的，而如果船体较长，如现代的驱逐舰和巡洋舰、二战时期的战列巡洋舰和重轻巡洋舰，由于两轴布置得很近，转向的力矩就很小，转向半径就非常大，对航行非常不利。使用舵机的好处是可以控制转向角度，轻微的角度修正和大转弯都可以轻松实现。

舵机当然不能直接控制舵面，而是要经过一系列的传动措施。一般的模型船都采用单舵或是双舵的形式，如图6所示。

图8 正在试车的动力部分

一般宽度较小（8cm以下）的船，都采用单舵连接，单舵装置结构简单，加工方法也不复杂，但是舵面效率低，所以一般单舵的舵面都比较大。

双舵结构复杂，但是仿真度高，加工要求也高，舵面积较小，舵面效率高，所需的安装空间也比较大，尤其是两根舵杆之间的距离要能够容纳足够大小的传动装置。

所以对于这个小船来说，选择单舵也是迫不得已的，如果船再稍微大一点，比如1：700的现代航母，就可以使用双舵了。好在对于小模型来说，其实单双舵的效率并无太大区别。

单舵的驱动结构又分为直接驱动和齿轮传动，由于舵机有一定的摆角，对于一些模型来说，舵机的摆角不够用或是太大，就需要用齿轮传动的方式来增大或是减小舵机的摆角。其实用摇臂的长短也可以做到改变摆角，但是改变的幅度很小。

一开始我打算用齿轮传动的方式，因为怕舵面摆角不够，舵机直接通过钢丝连接大齿轮，大齿轮再带动小齿轮，小齿轮直接通过轴连接舵面。但是也许是加工原因，齿轮之间的配合效果很差，所以这个计划也就流产了。进而采取的方式则是直接驱动，如图7所示。4.3g舵机直接连接船舵的摇臂，船舵摇臂是用舵机里的摇杆改的，而舵面则用了1：350现代级驱逐舰模型的舵面，这样能保证有较大的舵效率。

正在试车的动力部分如图8所示，单舵、双桨正在转动，螺旋桨后的两个人字架由于在转动过程中会阻挡螺旋桨，所以待船轴固定住之后就拆去了。为了防水，我用补土把一些孔（比如原舵孔）堵住了。

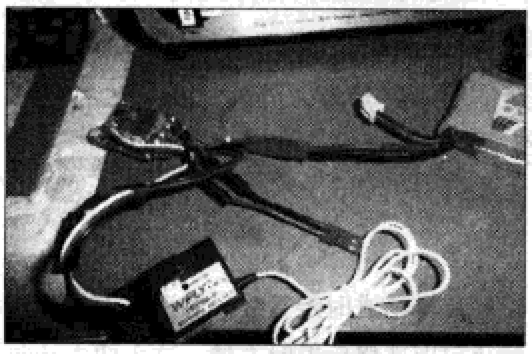
总装

舵系、电机、轴系都安装好，就要进行总装了。接收机、电子调速器都要装在船里。

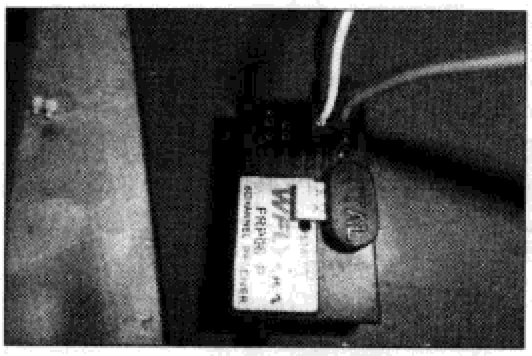
首先要做的就是各种电子装置的连接。我用的是6通道的接收机，所以就以这个为例。

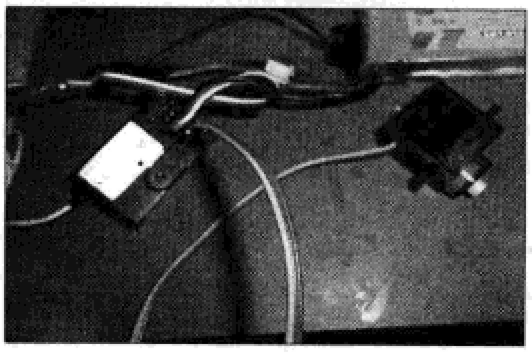
①把电调的控制线连在接收机的3号口上，黑线朝外，这个时候不要连电池，注意电调上的开关是关闭状态。

②连接电池的jet公头和电调的jst母头，同时仍保持电调上的开关为关闭状态。连接好后，打开电调的开关会有灯亮。

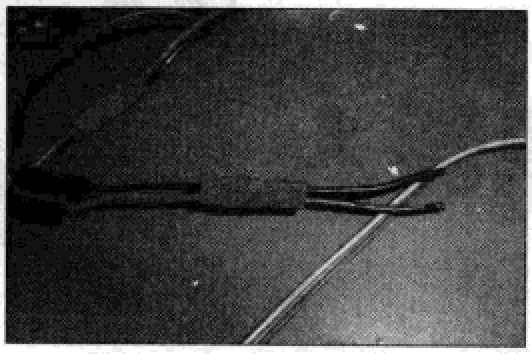


③连接舵机，把舵机连接在2口或4口上，2口是左手的左右控制杆，4口是右手的左右控制杆，棕色线朝外，然后打开电调的开关，这时舵机应该动一下。如果不动，就把舵机线的顺序反过来接，即黄线朝外。如果你买的舵机上是黑红白3根线，那么永远是黑线朝外。切忌不可以把电池直接接在接收机上，这样做必烧无疑。

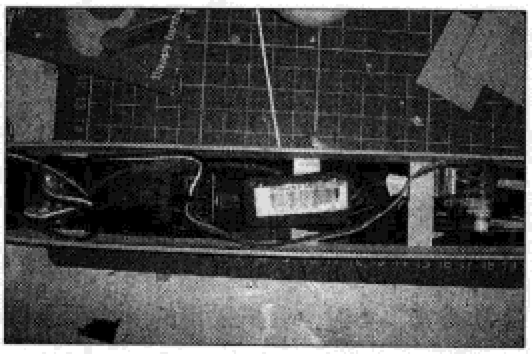




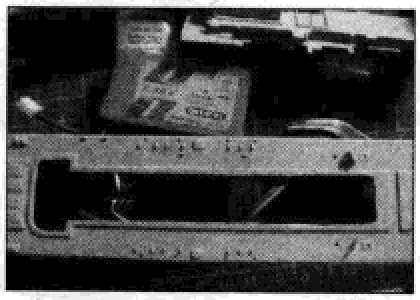
④将jst母头接在电调上，直接接电调电线也可以。红色的线是正极，黑色的线是负极，电调、电池都是这个规律。红线和红线接，黑线和黑线接，接错了就有可能烧坏。出来的两条线接电机。

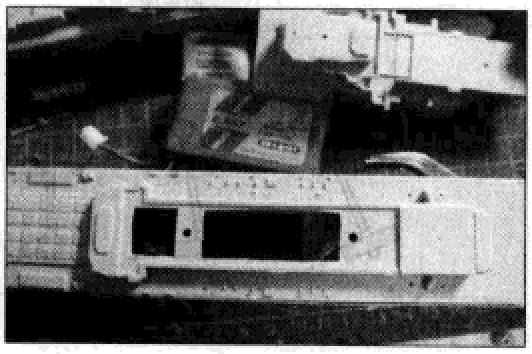


⑤然后把这些东西按照一定的顺序和方法装到船体里，从左到右依次是电调、接收机、电池、舵机，舵机下面则是两个电机。为了装下这些，需要将船体的支撑板去掉一些。

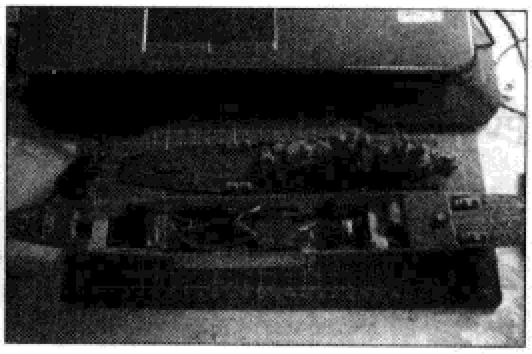


⑥动力部分的制作就基本结束了，然后进行静态模型的组装，这里就不多说了，值得一提的是，为了减轻重量，要在甲板和上层建筑上增加很多镂空部分和减轻孔，去掉大部分外观上看不到的塑料。



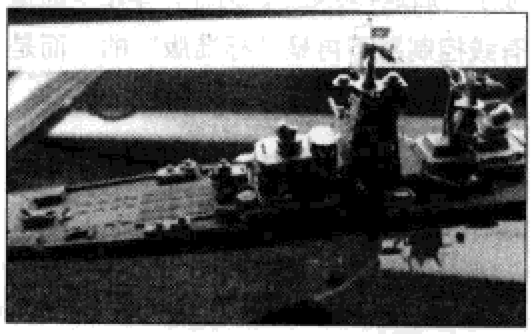


⑦组装静态模型时用了一些便宜的PE（蚀刻片），增加了些细节，进行了部分分组涂装。



⑧既然是遥控船，就要下水，下图是在洗手池里进行的静态下水测试，吃水超过水线大约2~3mm，实际上这个吃水量还是可以接受的。

⑨静态浮力足够的话，就试试动态的吧，这是在一个小鱼缸里进行的动态航行。

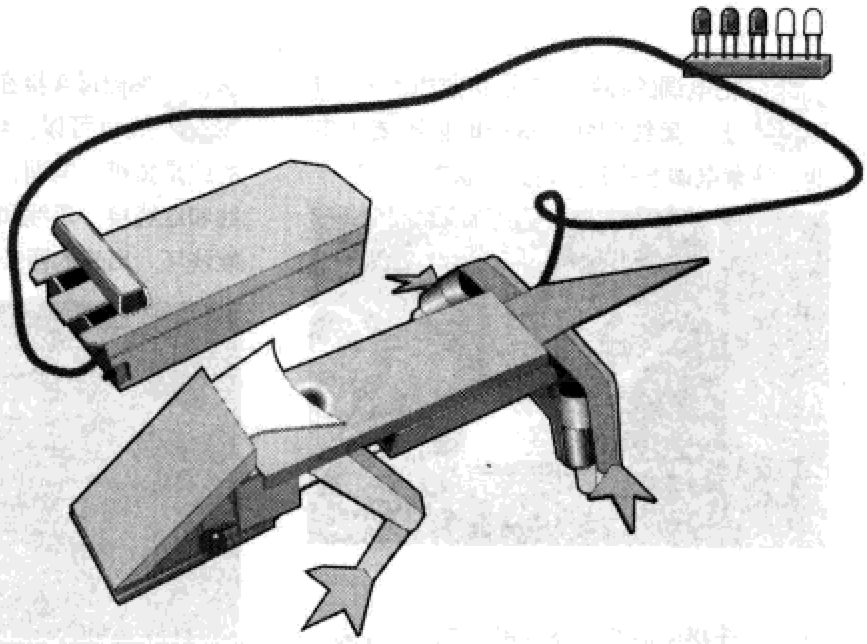


这样，这艘船就算是能服役了。小船有小船的乐趣，在景观水池里，小小的遥控军舰就可以编队航行，也可以以很小的空间打造一只小舰队。小型遥控船带来的乐趣可是非常多的，快去组建自己的舰队吧！

◇pvcbot ◇插画：刘少冉

PVCBOT 27号

线控变色龙机器人



在本刊介绍的《机器蝎子》一文中，单路双通道有线控制器只能控制机器人前进和后退，假如除此之外还希望机器人能够转弯，是不是就一定需要双路或者三通道以上的控制器呢？对于这个问题，如果仅仅从控制器本身的功能来考虑确实是这样，但如果能够从机械结构上下点功夫的话，却有另外的答案。作为线控系列机器人的第二个项目，这款机器人仍然采用单路双通道有线控制器，但是结合特殊的结构，却可以控制前进、停止、后退并转弯。同时，机器人的外形设计成蜥蜴的造型，再加上特别的彩色灯光变化效果，整体就塑造成一只机器变色龙。

本项目还是采用单路双通道有线控制器控制，但比上一个项目PVCBOT 26号机器蝎子多了一个特殊的转向轮设计，就使得本来仅是“后退”的状态变成了“后退+转向”。另外，单路双通道有线控制器不再是“标准版”的，而是“扩展版”的。

基本原理

本项目从本质上说是一辆有线控制的三轮机器人小车，后端两个主动轮提供前进或者后退的动力，而前端中间的一个从动轮控制着小车的转向。小车的底盘采用通用的PVCBOT-A 型基础平台车，不过没有直接使用其原有三轮结构，而是另外加装了一个可以转动角度的从动轮，代替原来中间固定的仅负责平衡的从动轮。

1. 运动方式

此前几个三轮小车中间的从动轮固定不动，仅起到平衡的作用，依靠左右两个主动轮的差速（不同转速及转向）实现小车转弯的效果，而当前的三轮小车中间的从动轮是可以改变角度的，不仅起到平衡作用，同时还可作为转向轮。

改变转向轮的角度，就可以控制小车前进、后退的方向，这其实就是三轮车的运动方式。不过，我们采用的单路双通有线控制器仅能够控制左右两个轮同时转向相同的方向（即只能控制前进或后退），为了保证小车既能直线运动又能转弯，我们就选择前进时走直线，后退时右转。当然也可以选择后退时左转，这主要由转向结构安装的方向决定。

2. 转向轮结构设计

转向轮自动根据小车前进或后退的状态实现“打正”或“右转”是本项目的关键所在。要实现这样的控制，最容易想得

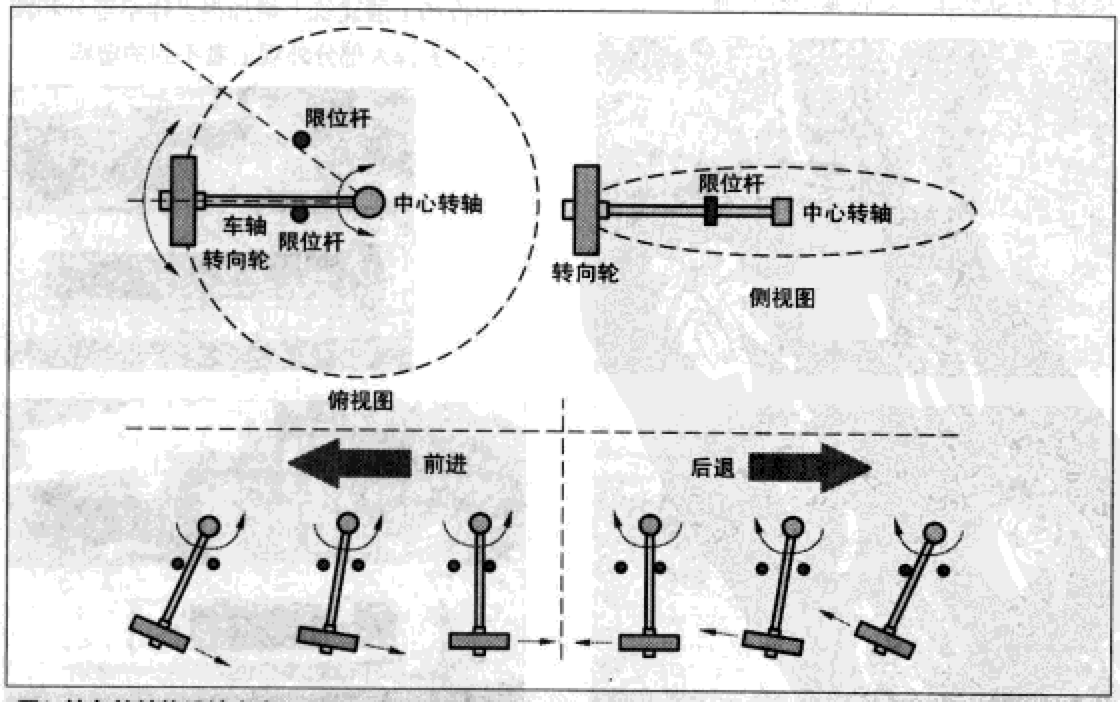


图1 转向轮结构设计方案1

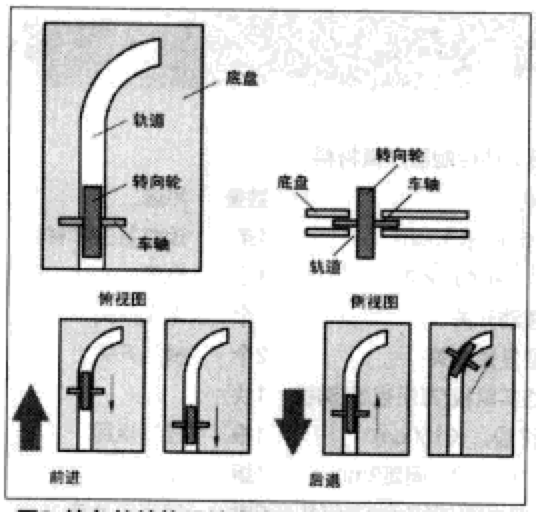


图2 转向轮结构设计方案2

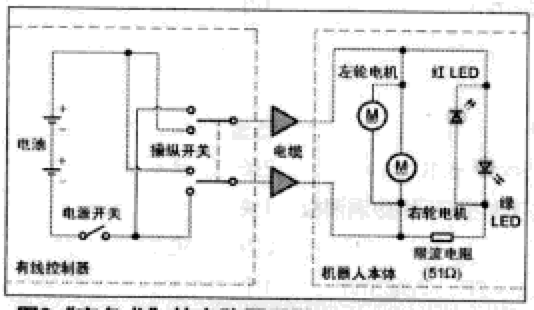


图3 “变色龙”的电路原理图

到的方式是借助额外的控制电路去驱动一个转向的电机，让电机去带动转向轮改变角度。其实未必需要复杂的电子控制，我们完全可以以机械的方式，用特殊的机构既简单又有效地完成。

为实现这一功能，最初我们设计了如图1所示的轮轴结构：把安装了转向轮的车轴的其中一端固定在中心转轴（橙色）上，车轴可以围绕中心转轴做圆周转动。另外在车轴转动的路径上另外增加两根限位杆（红色），用于限制车轴只能在一定的扇形范围内转动。

具体原理如下：小车前进时，转向轮会受到向后的摩擦力，则车轴会围绕中心转轴向后摆动，一直摆动到后端限位杆的位置，处于“打正”状态，也就是说小车前进时是走直线的。当小车后退时，转向轮会受到向前的摩擦力，则车轴会围绕中心转轴向前摆动，一直摆动到前端限位杆的位置，处于“右（或左）转”状态，也就是说小车后退时是转弯的。

以上结构设计从原理上来说应该是没有问题的，不过在实际制作时，我们发现效果不是太理想，主要是我们开始选择的转向轮比较小，接地面积有限，导致摩擦力不够，转向轮经常因为打滑，无法转到指定位置。而假如要换大一点的转向轮，发现由于转轴长度的原因，整体结构所需要的空间过大，所以最终不得不放弃这个设计。不过作为一个思路，我们这里还是把它记录下来，供大家参考。

转向轮的改进设计方案这里引入了轨道的思路，即把转向轮安装到一个由直道和弯道组成的轨道中，让轨道去改变转向轮的方向，如图2所示。

具体原理如下：小车前进的时候，转向轮会受到向后的摩擦力，进入后侧直线轨道中，这时转向轮是处于“打正”状态的，也就是说小车前进时是走直线的。当小车后退的时候，转向轮会受到向前的摩擦力，进入前端弯形轨道中，这时转向轮是处于“右（或左）转”状态的，也就是说小车后退时是转弯的。

实践证明，这是比较理想的设计方案，最终将会应用在本项目的转向轮结构上。

3. 电路控制原理

电路如图3所示，具体焊接方法如图4所示，改变电机的旋转方向，即可控制小车前进或后退。与此前机器蝎子只用一个单刀双掷开关，同一时间只能输出其中一节电池的电能不同，变色龙借助一个双刀双掷开关控制两节电池同时对外供电，不但输出电压变高了，也避免了两节电池放电不平衡的弊端。

双刀双掷开关相当于两个并列在一起的单刀双掷开关，为了方便起见，这里直接使用两个机器蝎子所用的3状态复位开关，把它们的摇杆并联捆绑，相当于同步拨动两个复位开关。左右两个前轮的电机也以并联的方式连接在一起，两个电机同时静止、前转或后转。

本电路可以用于驱动LED（启辉电压2V左右），由于LED的两根引脚是区分正负极的，这里我们把正负极交叉的一红一绿两个高亮度LED并联在电机两侧（加上限流电阻以保护LED不被烧掉）。当电机正转或反转时，就会有其中一个LED发亮，也就是说，小车在前进或后退时，两种颜色的光线也会交替显示，这样就相当于在模拟变色龙的变色效果。

电源开关可以控制总的电源通断，不至于误操纵触发。

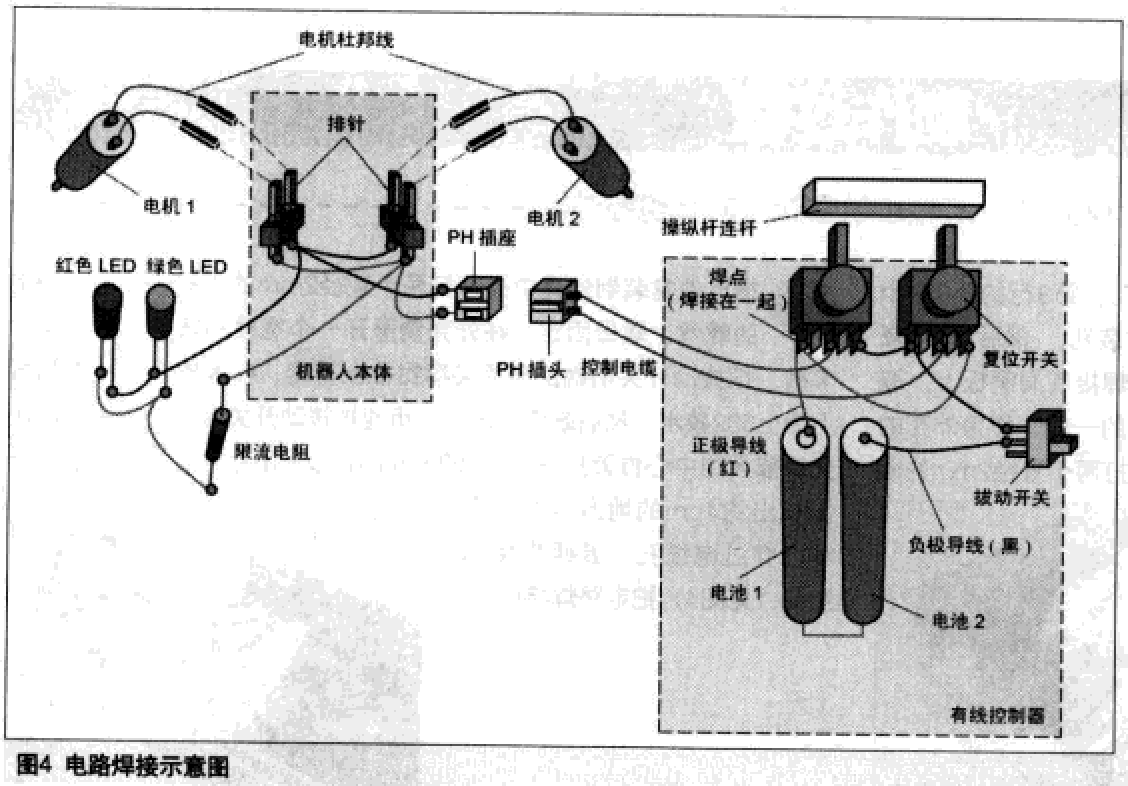
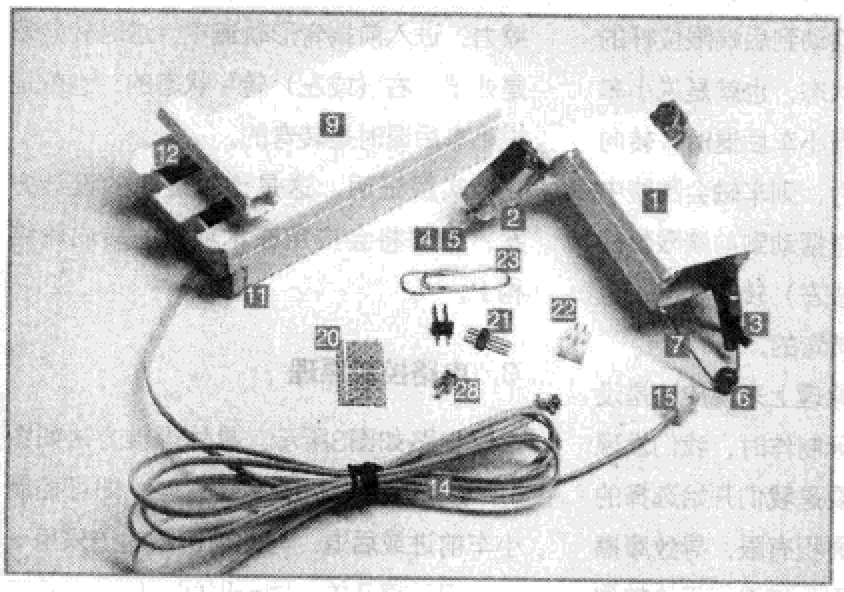


图4 电路焊接示意图

准备工作

本项目使用PVCBOT-A 型基础平台车（制作方法参见本刊2012年第4期《沿墙走的老鼠》一文）作为底盘，在此基础上追加部件制作成机器蜥蜴或变色龙，直接使用PVCBOT-CCtrl-12B单路双通道有线控制器作为控制设备。



PVCBOT-A 型基础平台车所需材料

名称	规格	数量	用途
1 PVC线槽	宽2.5cm，长15cm	1条	小车底盘
2 小电机	微型1.5V电机，轴径1mm	2个	动力
3 杜邦线	绿	4根	电机导线
4 小齿轮	内径0.95mm	2个	前轮“车轮”
5 胶管	自行车气门芯胶管	1段	前轮“外胎”
6 小圆珠轮	塑料圆珠子车轮	1个	后轮
7 曲别针	标准钢丝文具别针	1个	后轮支架
8 M1.2×5螺丝、螺母	直径1.2mm，长5mm	2对	固定PVC材料

PVCBOT-CCtrl-12B单路双通有线控制器所需材料

名称	规格	数量	用途
9 PVC线槽	宽4cm，长15cm	1条	控制器主体材料
10 电池盒	7号（AAA）×2	1个	电源
11 拔动开关	小拔动开关	1个	电源开关
12 复位开关	小型复位开关	2个	操纵开关
13 电路板	电路实验板/万用板/洞洞板	1块	
14 电缆	2P排线，长150cm	1根	控制电缆
15 插头	PH2.0，2P，间距2mm	1组	电缆接口
16 M2×6螺丝、螺母	直径2mm，长6mm，平头	2对	固定电池盒
17 M2×10螺丝、螺母	直径2mm，长10mm	2对	固定电路板
18 M2垫片	直径2mm	6个	垫电路板

制作机器蜥蜴所需材料

名称	规格	数量	用途
19 PVC线槽	宽2.5cm，长10cm	2条	基本结构
20 电路板	电路实验板/万用板/洞洞板	1块	
21 排针	2针	2组	电路连接
22 插座	PH2.0，2P，间距2mm	1个	接控制电缆
23 曲别针	文具回形针	2个	线架、眼睛支架
24 小圆珠子	红色	2个	眼睛
25 短轴	长1.5cm，直径2mm	1个	转向轮轮轴
26 橡皮圈	直径15mm	1个	转向轮外胎
27 大滑轮	皮带滑轮，直径24mm	1个	转向轮
28 M2×6螺丝、螺母	直径2mm，长6mm，平头	1对	固定线架

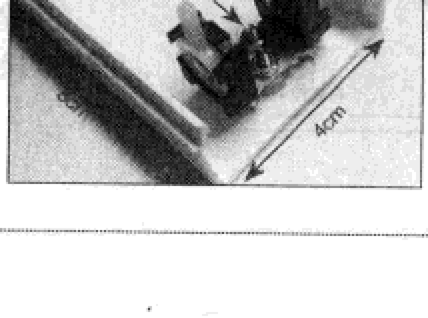
升级为机器变色龙所需材料

名称	规格	数量	用途
29 LED	高亮度LED（透明发红光、透明发绿光各1个）	2个	变色灯
30 电阻	51Ω（色环：绿棕黑）	1个	限流保护
31 电路导线	长10cm（红、黑各1根）	2根	变色灯组引出线

制作过程

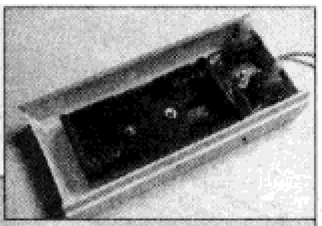
PVCBOT-CCtrl-12B 单路双通道有线控制器

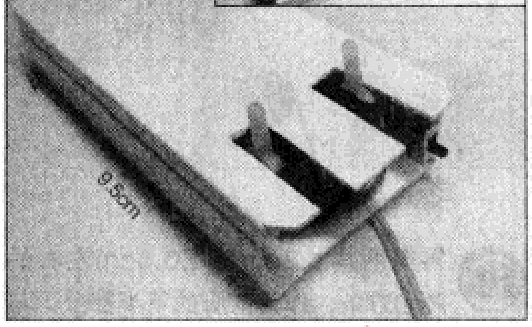
1 把3×6的洞洞板，横向第1行的第4个小孔、第3行的第3个小孔，分别用锥子撑大到直径2mm，作为安装孔。 然后把2个复位开关插到洞洞板两端，把各自中间的3个引脚焊接到洞洞板上。取宽度为4cm的PVC线槽凹槽部分，剪出长约8cm的一段，作为外壳的底部。对着洞洞板上的两个安装孔，在外壳底部打两个直径2mm的固定孔，要求使复位开关正好处于外壳中央。用M2×10的螺丝从外壳底面一侧穿过两个固定孔，在每个螺丝各套上3片M2垫片，再把洞洞板装上，最后拧上M2螺母固定好。



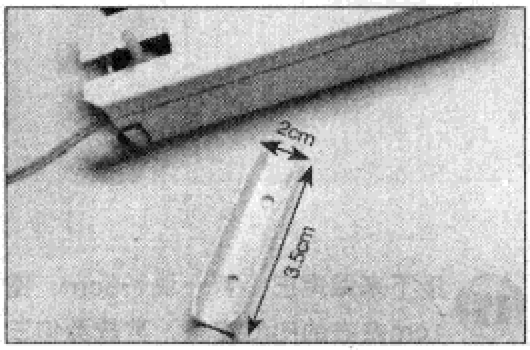
2 把电池盒装到外壳中央，打两个直径2mm的小孔，借助M2×6的螺丝、螺母固定。在外壳侧壁开一个宽度和拨动开关一样的卡槽。把拨动开关前端部分用尖嘴钳往上折起。在卡槽四周及内侧面上涂上502胶水，然后趁胶水未干，迅速把拨动开关装入卡槽中。在外壳底部大约中心位置打一个直径2mm的小孔，作为电缆孔。在电缆一侧长出约4cm的地方打好一个结，穿过电缆孔。参照焊接示意图（见图4）把电路焊接好。

3 裁一段长约9.5cm的PVC线槽顶盖部分，套入外壳底部的卡槽上。对着复位开关的位置，在顶盖做好标识，用剪刀开出正好可以容纳复位开关的两道凹槽。把顶盖四边、四角剪成斜角，然后盖上外壳。为了让外壳更牢固和更具密封性，我们再给外壳底部前后两端加上封板。

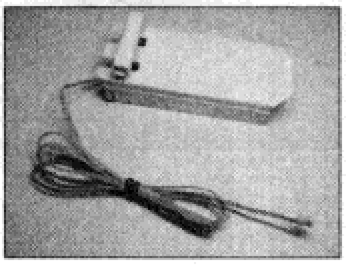




4 操作杆是由连接两个复位开关摇杆的连杆组成。剪一片长3.5cm、宽2cm左右的PVC方块，在PVC方块中心打两个孔，让两个复位开关的摇杆正好同时插入两个孔中。然后把PVC方块两侧弯折，整体呈一个槽状连杆。

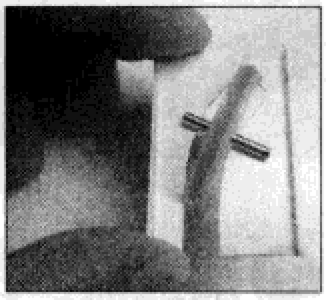


5 剪一片PVC方条作为封口条，正好可以放入连杆槽中，用502胶水粘贴固定在连杆槽的顶面上。把完成的连杆直接套到复位开关的摇杆上，制作电缆连线接头后，用万用表直流电压挡来测量控制器的电流输出是否正常。操纵杆处于中间位置，读数应为0V，用手朝一个方向拨动操纵杆，可以看到所示的数值有变化，再朝另外一个方向拨动操纵开关，也可以看到所示的数值有变化，不过电流方向和上次的相反。

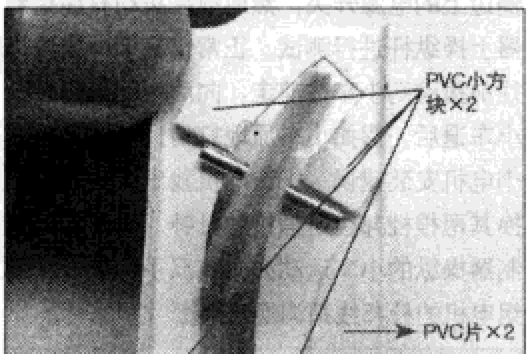


机器蜥蜴的制作

1 首先制作转向轮。以大滑轮作为车轮，橡皮筋作为轮胎，短轴作为车轴。把橡皮筋环绕套到大滑轮外侧槽中。把短轴压入大滑轮中间的轴孔，要求大滑轮两侧升出的短轴长度是差不多的，即车轴处于车轮中心位置。剪一段长约4cm的PVC凹槽部分，剪成如图所示的样子，作为转向轮底盘。在转向轮底盘用笔描出一段弯道与直道相结合的轨道，然后用剪刀沿着之前做的标记剪开。把转向轮搭到轨道上面，调整轨道的宽度，尤其是注意弯道部分的角度，让转向轮在整个轨道中活动得顺畅一些，即让转向轮在沿着轨道移动时，不至于碰到轨道边缘。

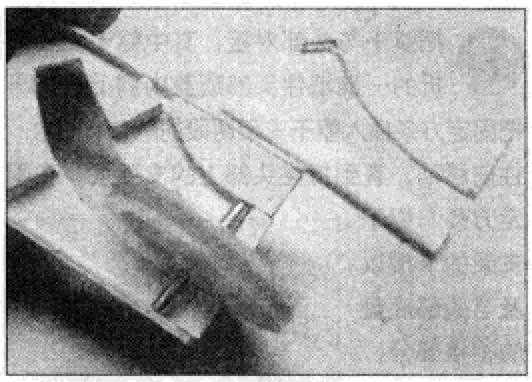


2 剪两片形状如图所示的PVC片，其中弧度是沿着轨道的弧度。把两片PVC叠在一起放置于轨道内边侧，借助502胶水固定好，主要顶住转向轮的轮轴一侧，让转向轮沿着轨道移动时不会走位，不会碰到轨道边缘。再剪8片PVC小方块，两片一组叠在一起，借助502胶水粘到轨道前后端，作为转向轮的轮轴前后位置的卡位点，即转向轮向前或向后移动时的最终位置。选择弯道部分的卡位点位置时，要让转向轮不能碰到轨道的终点。直道部分的卡位点位置，可以定在转向轮底盘的边缘。

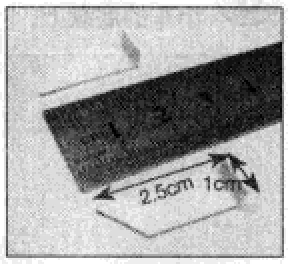


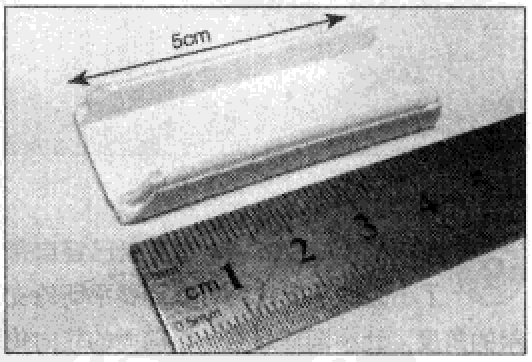
5 把两片支架条插到头部顶盖上两侧的卡槽中，再把头部顶盖安装到转向轮底盘上，支架条两端都涂上502胶水固定。

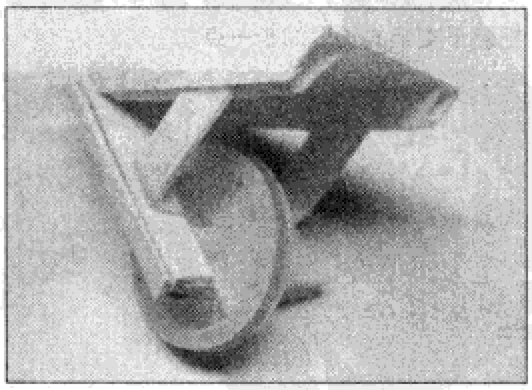
3 当转向轮调整到可以在轨道内前后顺畅移动后，剪一片大小与转向轮底盘一样大小的PVC方片，作为轨道的盖板。把盖板叠在转向轮底盘上，用笔沿着轨道的边缘，在盖板上把轨迹画下来。用剪刀把盖板上轨迹剪开，把转向轮搭在底盘上，再在上面放上盖板。修整盖板上轨道的边缘，确保转向轮可以在轨道中比较顺畅地前后移动，最后在轨道4个卡位点上涂上一点502胶水，把盖板与转向轮底盘固定在一起。



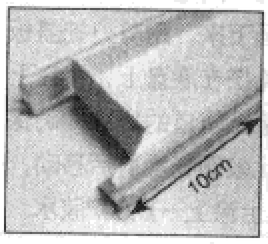
4 PVC线槽的槽盖部分，剪下长5cm的一段，前端剪成斜角，做成头部的顶盖。再剪两片长2.5cm、宽1cm的PVC方片，其中一端弯折起来大约0.5cm的一段，另一端剪成斜角，作为支架条。

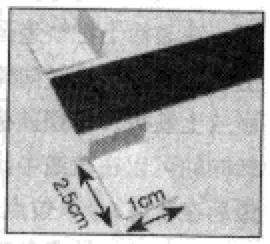




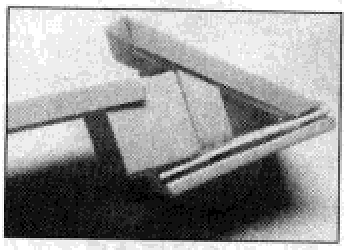


⑥ PVC线槽的槽盖部分，剪好长约10cm的一段，作为躯干支架。如图所示，在躯干支架一端剪开一段，并折起来。再剪两片长2.5cm、宽1cm的PVC方片，并在1.5cm的位置弯折起来，作为固定方条。

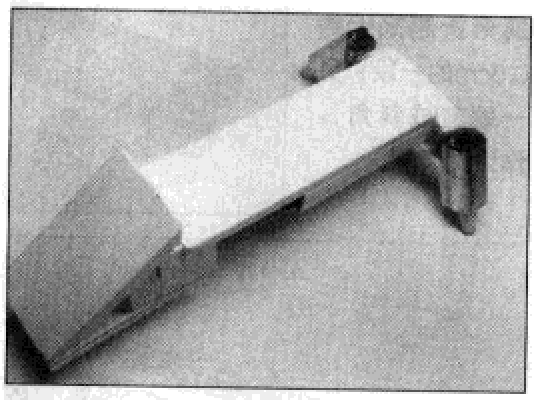




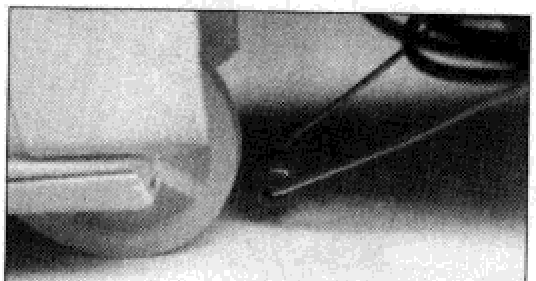
⑦ 把躯干与头部对接，其中躯干支架弯折的一端抵住头部顶盖内侧上端。再把固定方条插入躯干支架两段的PVC卡槽中，往前移动，直到抵住头部上的支架条。在固定方条与躯干支架的卡槽以及与头部底盘的相接部分，涂上502胶水进行固定。



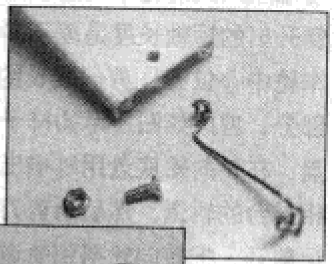
⑧ 躯干的另一侧，直接装到PVCBOT-A小车的底盘上。

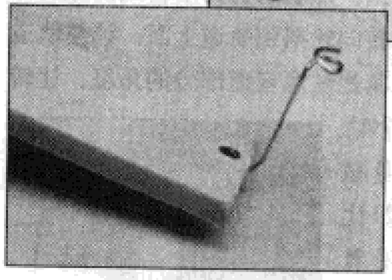


⑨ 原来的PVCBOT-A小车底盘已经自带了小圆珠平衡轮，可以调整平衡轮支架的角度，让小圆珠悬空，以前面的转向轮着地。 假如小圆珠碰到了前面的转向轮，要么把小圆珠连同支架一起拆掉，要么考虑把躯干支架的长度加长一点。

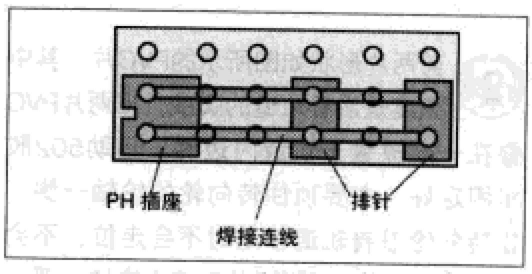


⑩ 用曲别针借助尖嘴钳扭成如下形状的线架，两端都是一个弯折的圆圈，其中较小的一个圆圈直径最好是在2mm左右，以便后面借助M2螺丝来固定。在躯干支架后端中心打一个直径2mm的孔，把线架用M2×6的螺丝、螺母固定起来。



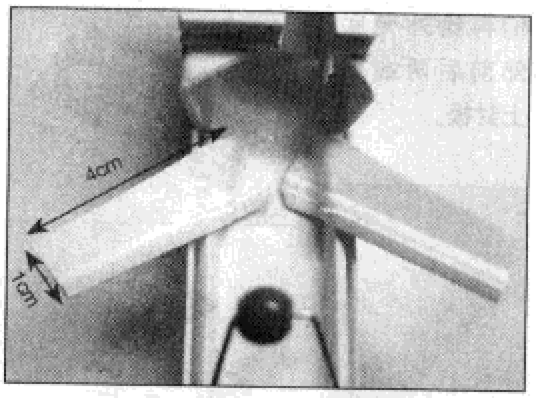


⑪ 把PH插座、排针按照示意图的位置焊接到洞洞板上，并且焊接好连线。

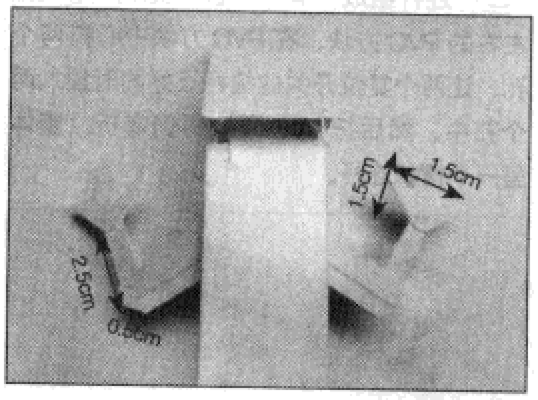


⑫ 然后把准备好的PVCBOT-A型基础平台车上连接电机的两组杜邦线分别插到电路板上的两个排针上，再把PVCBOT-CCtrl-12B单路双通道有线控制器电缆上的PH插头也插到电路板上。打开有线控制器侧边上的电源开关，然后前后拨动有线控制器上操纵杆进行测试。正常情况下，应该是往前拨动则小车往前走，向后拨动操作杆则小车退后。假如小车原地打转，说明其中一个电机安装错误，把该电机找出来，然后调换其两根杜邦线所插接的排针。假如有线控制器操纵的小车运动方向搞反了，则要把两组电机的杜邦线都调换过来。

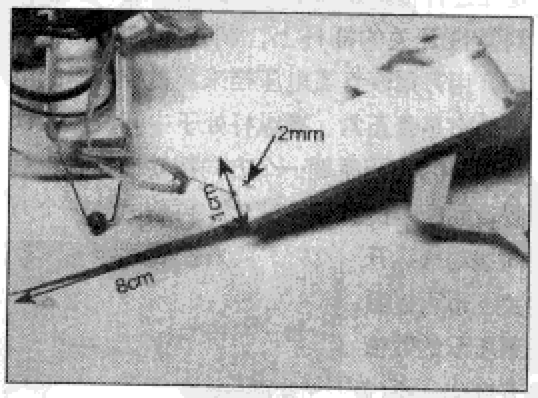
⑬ 为了让整体造型更美观，这里再安装装饰，首先是前脚。剪两片长4cm、宽1cm的PVC方条，最好是凹槽部分（边上有卡槽，看起来有点立体层次），作为前脚的上半部分。其前端用尖嘴钳弯折，用502胶水固定在躯干支架前端靠紧头部的内侧。



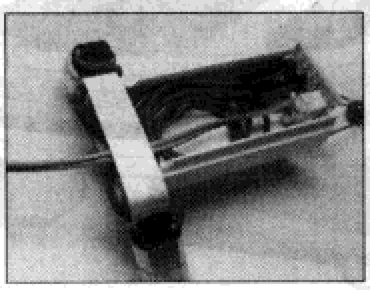
⑭ 再剪两片长2cm、宽0.5cm左右的PVC方条，作为前脚的下半部分，与前脚的上半部用502胶水粘在一起。再用两块长1.5cm、宽1.5cm左右的PVC方块，剪成爪子状，用502胶水粘贴到前脚上。



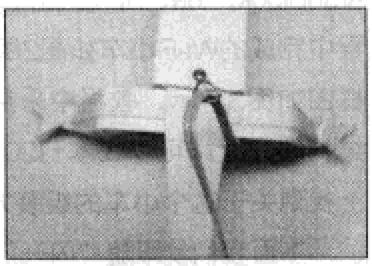
⑮ 接下来做尾巴。剪一块长8cm、宽1cm左右的PVC方条，剪成类似三角形状，在宽的一端打一个直径约2mm的孔。把尾巴装到躯干支架上，即与线架的固定孔叠在一起，借助M2×6的螺丝、螺母固定起来。



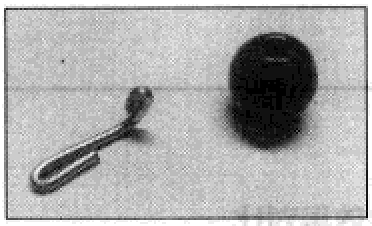
16 给小车两个后轮的电机都加上装饰的后脚。剪一段长10cm、宽1cm的PVC长条，与前脚类似，最好也是PVC线槽凹槽部分，搭在尾巴下面，沿着小车底盘的电机支架，把后脚结构做好弯折，让后脚刚好可以盖住电机，然后直接把整个后脚结构用502胶水粘贴到尾巴上。由于后脚结构遮住了电机支架，原来控制电缆是从小车“腰部”引出的，要改为从小车“尾部”引出，否则盖上躯干支架后，电缆将会被后脚结构给堵住。



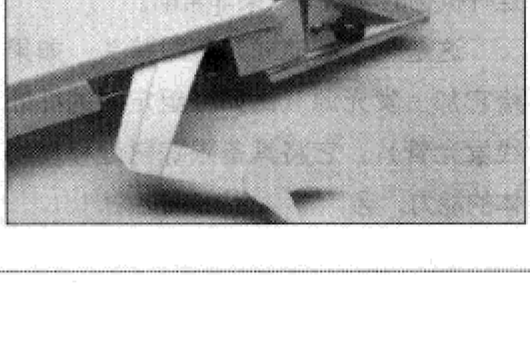
17 再剪两片长1.5cm、宽1.5cm的PVC方块，剪成爪子状。后脚结构前端向外侧做一点弯折，把爪子用502胶水粘贴在上面。



18 为了起到画龙点睛之效，我们再给蜥蜴加上眼睛。用两个红色的圆珠作为眼球，用曲别针作为眼睛的支架。把别针用尖嘴钳拉直，截出一小段，折成如图所示的结构，注意两端都弯折，方便固定。

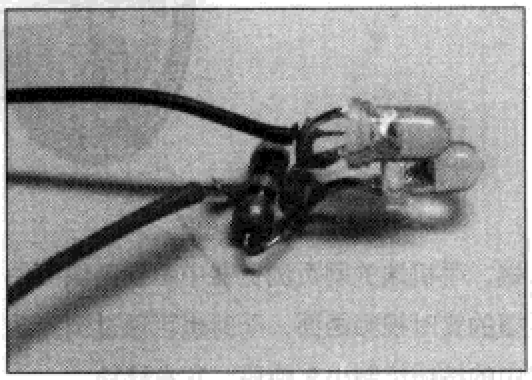


19 把圆珠装到支架上，假如不够牢固，可以在圆珠小孔内滴上一点502胶水。再把安装了圆珠的支架另一端粘到头部，注意位置相当于蜥蜴眼睛的部位。

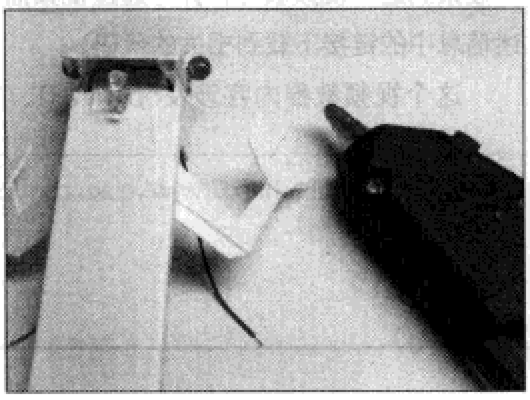


蜥蜴升级为变色龙

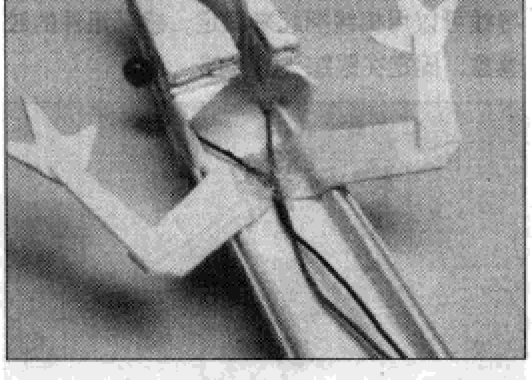
1 以上完成的结构还只是一只机器蜥蜴，假如我们再加上一组变色灯，就可以升级为变色龙机器人。要实现前进和后退时分别是不同颜色的LED发光，那么就需要把两个LED引脚极性相反地焊接在一起（引脚长的为正极，短的为负极），再焊接上限流电阻（51Ω），以保护LED不被烧掉。从“没有连接电阻”的一端，以及“电阻没有连接二极管”的一端，分别焊接红、黑两根导线。



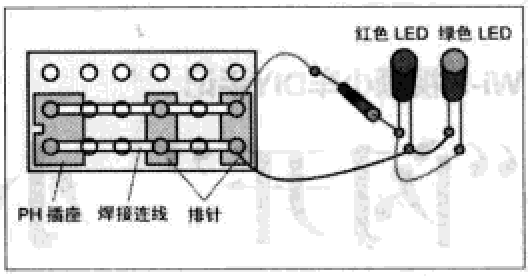
2 把两根导线穿过头部与躯干直接的接缝，把变色灯组往头部顶盖里面靠，用热熔胶固定住。



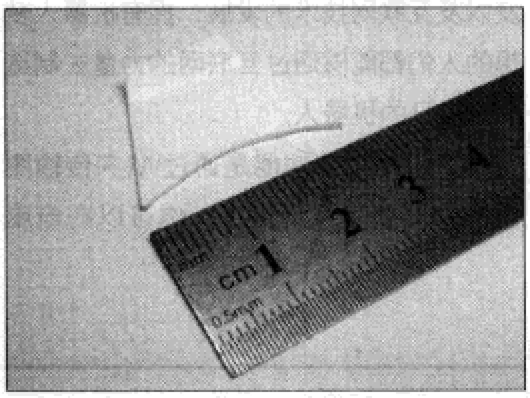
3 变色灯组的导线从躯干内侧引出，也可以滴上热熔胶固定。



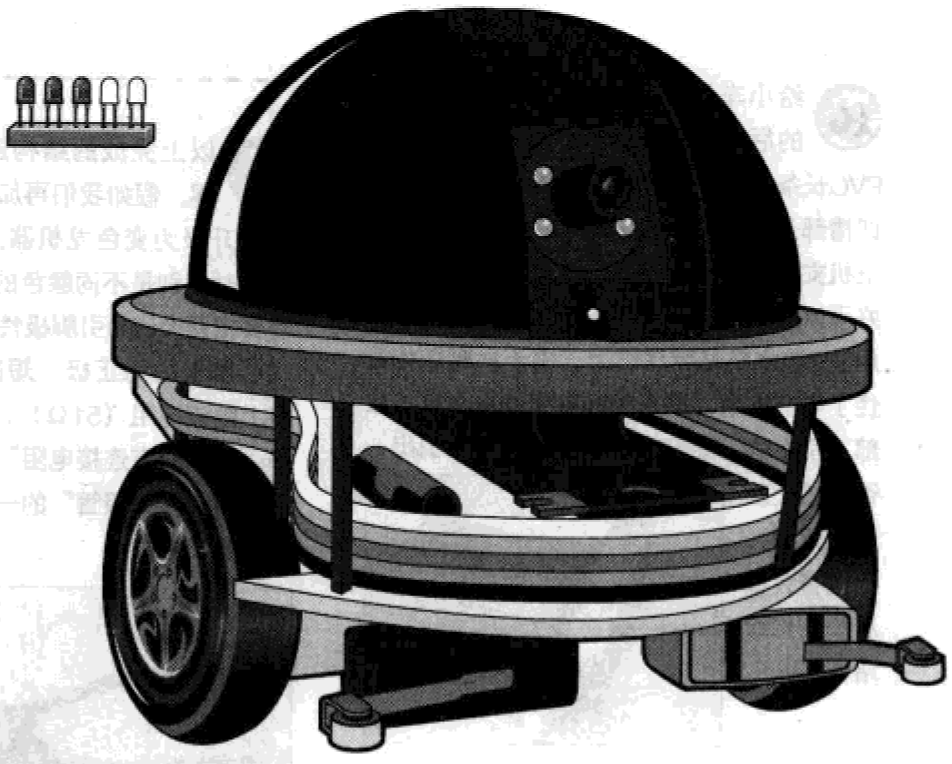
4 变色灯组的两根导线，直接连接到电路板上并行的两段焊点上（即排针的两端）。



5 重新把躯干与小车底盘连接起来，拨动有线控制器的操纵杆，正常情况下，在小车电机转动的同时，LED会发亮，且是前进和后退时是不同颜色的LED发亮。要控制在小车前进或者后退时要亮的是哪个颜色的LED，可以调整变色灯组两根导线连接到电路板上的极性。调整两个LED的引脚弯折程度，让其发光时，光线尽可能地投射在躯干背部平面上，最大限度展现变色的效果。还可以变色灯加上一个灯罩。剪一块如图所示的PVC片，其中梯形短边一侧做弯折，长边一侧剪成内弧形。



6 把灯罩用 502 胶水粘贴在头部顶盖后端，正好遮住变色灯。适当调整灯罩的角度，既不要挡住变色灯的光线，也不要让光线散开太多，调整到让光线投射到背部的效果最佳。



◇程晨 ◇插画：刘少冉

Wi-Fi视频小车DIY手记

“闪开”小车的成名之路

“闪开”是题图中的机器人小车的名字，它在2012年5月31号登上了《环球时报》英文版（见图1），文章标题叫《The robot cookbook》，从我们的开源硬件团队OpenDrone讲到目前的开源硬件文化对电子技术的影响。随着开源硬件概念的普及以及互联网技术的发展，拥有机器人梦想的人们都能够通过互联网的力量去制造一个自己的机器人。

“闪开”的功能是通过Wi-Fi传输图像视频信息和控制指令，你可以在电脑端、手机端的网页浏览器中看到摄像头拍摄的实时视频画面，同时也可通过浏览器中的按钮控制小车前后、左右移动。

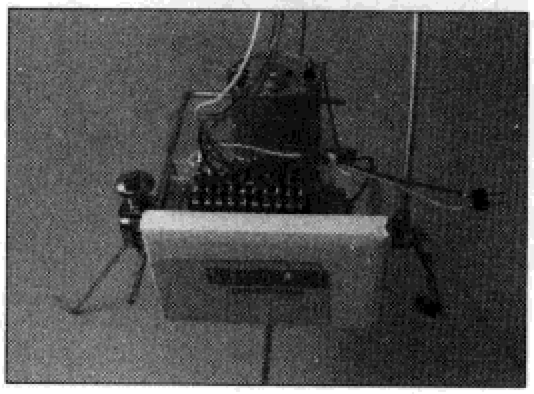
“闪开”的制作完成归功于我前一段时间制作的一个13节的视频教程《无线遥控监控小车制作》，大家可以在优酷网中搜索到这个视频教程，并可通过视频描述信息中的链接下载到相关的代码。

这个视频教程内容涉及openWRT、Arduino、Android、amarino、ArduBlock、lua、html、javascripe等。教程中完成的Wi-Fi小车如图2所示，其系统框图如图3所示。教程中采用3PA小车的结构件，大家可以在本刊2010年第11期上找到关于这个小车的组装方法。

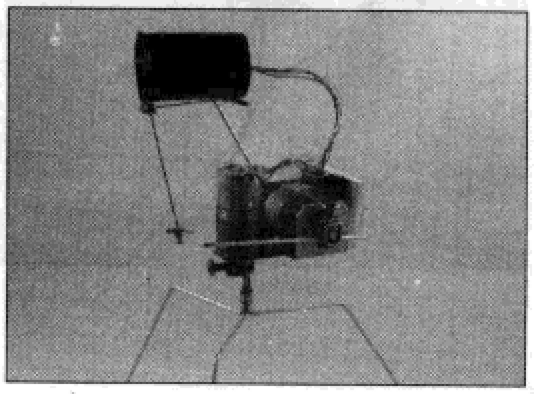
下面我们就跟随“闪开”来简单回顾一下Wi-Fi小车的制作过程。

视频教程网址：http://www.youku.com/playlist_show/id_17022950.html

16 用硬塑料板，比如电子产品的热塑包装壳，制作一个卡子，骑在纵向电机的背部。用这个卡子将锂电池“背”在纵向电机的后面。塑料卡子还起到绝缘电子部分和电机外壳的作用。



17 控制核心放在塑料卡子弯的凹槽里。机器人的配线使用的是废USB鼠标里面的导线，颜色漂亮，材质也很好。松散的导线可以用棉线捆起来固定。感光组件的胶卷盒，固定在跟踪头的头部。



效果对比

和前面介绍过的单自由度光电跟踪头相比，这个机器人的运转灵活性就比较强大了。上电以后，感光组件构成的“眼睛”可以在上下和水平方向不停地扫描前方的目标。遇到比较亮的光线时，“眼睛”可以跟着光源的方向运动，再配合上连杆机构的驱动，效果非常酷。

这是一个被动式光电跟踪头，如果给它加上发光源（比如一组定向的红外线发光管），它将具备跟踪附近移动物体的能力。

图1 The robot cookbook

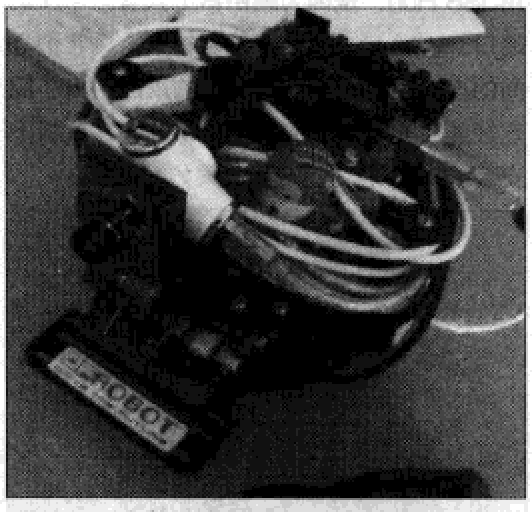


图2 Wi-Fi小车

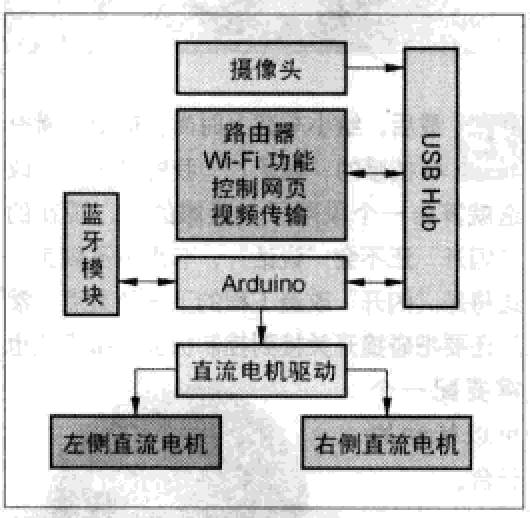
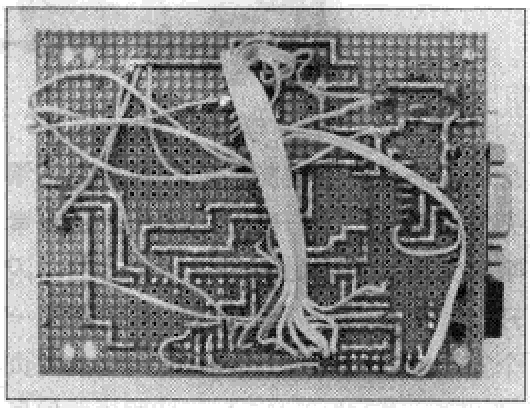
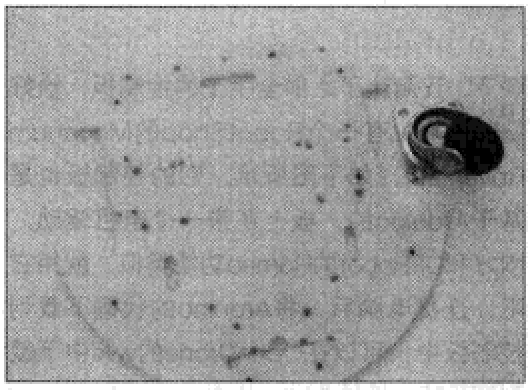


图3 Wi-Fi小车系统框图

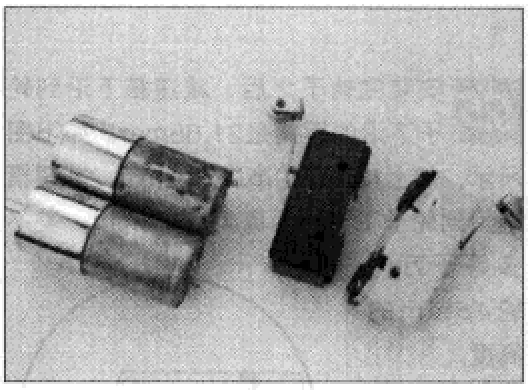

控制板背面

Wi-Fi小车的制作过程

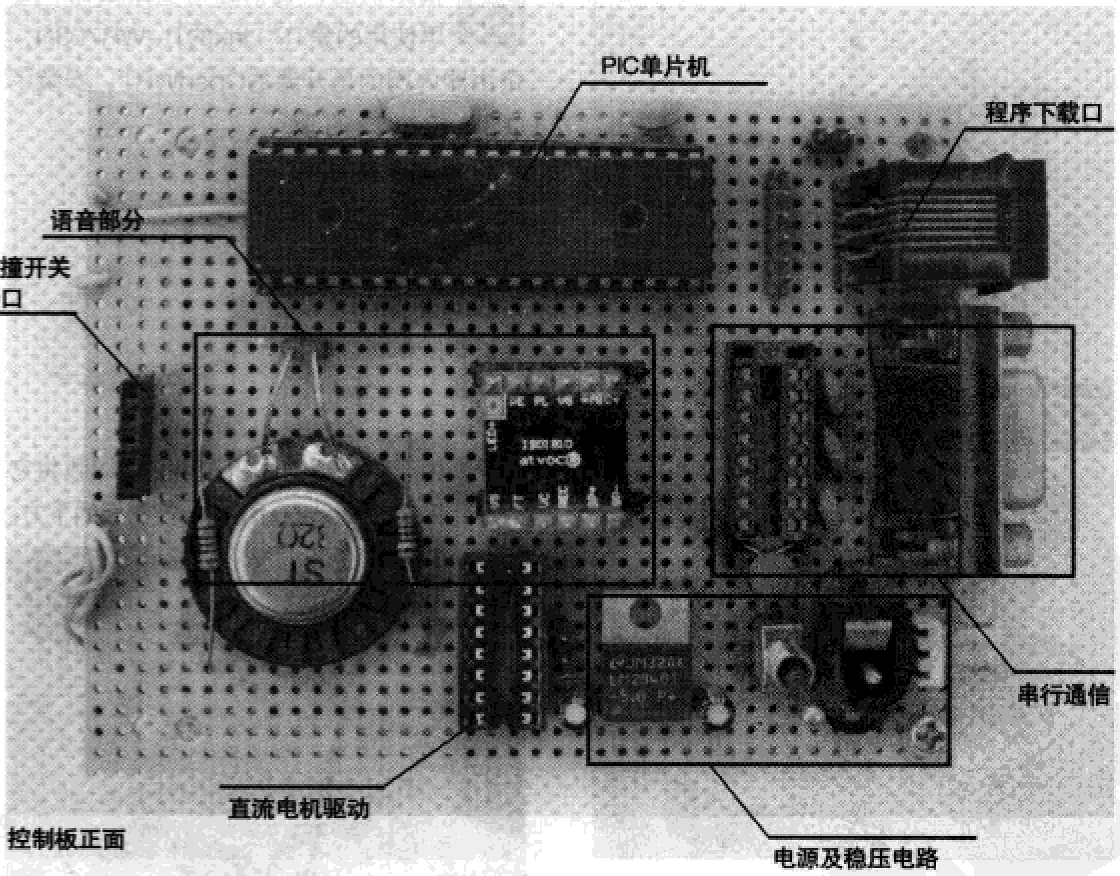
01 “闪开”的制作开始于很多年前，当初我只是拥有这块米黄色的底板和一个椅子上的万向轮，从哪里淘来的已经忘了，反正肯定不是买的。当时这块底板上还比较干净，没有这么多的固定孔、标识线和开槽。



02 后来我就去买了一对碰撞开关和一对带减速箱的直流电机。其中一个碰撞开关在安装过程中坏了，被我用绝缘胶带包扎成了现在这个样子（貌似我手上的元器件都会受点伤的）。

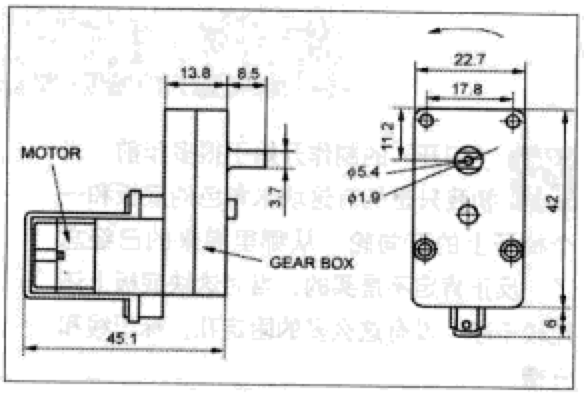


03 这个万向轮的高度是45mm，所以必须找到一对车轮，让它们安装在减速电机输出轴上之后，减速箱上沿到轮子的下沿高度差不多也是45mm。我在寻找轮子的同时，也开始了第一块控制板的制作。当时还没有什么Arduino，也没有什么开源硬件，什么都需要自己从头开始制作，我设计的控制板功能很简单——一个会说话的避障小车。控制板是全手工在洞洞板上完成的，MCU是PIC单片机，有一个用L293实现的电机驱动电路，一个用MAX202实现的串行通信电路，一个程序下载口，一个连接碰撞开关的接口，还有一套基于ISO1810语音芯片实现的声音播放体系（现在很多的芯片都被挪用了）。这个语音芯片里是我自己录的声音，当遇到障碍物时触发，只会说“闪开”，“闪开”的名字由此而来。

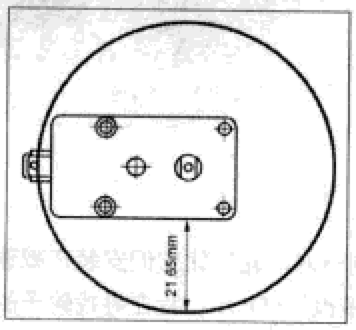


控制板正面

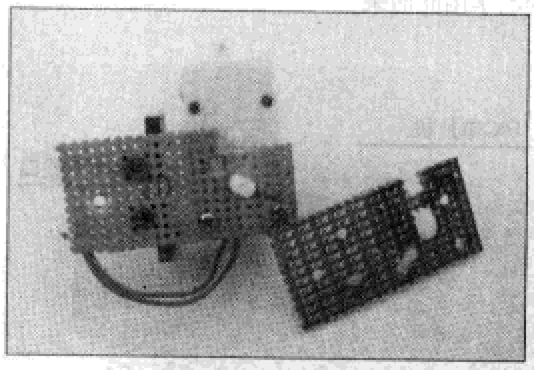
04 后来找到了一对轮子玩了一段时间之后，“闪开”就被搁置在一个角落里了，大家可以在视频教程中的第一节中看到“闪开”原来的“风采”。当我完成Wi-Fi小车的视频教程之后，我就有了改造“闪开”的想法，首先我看中了3PA小车的直流电机、减速箱及其配套的轮子。3PA小车中安装的直流电机的减速箱尺寸如右图所示。轮子的直径是66mm。



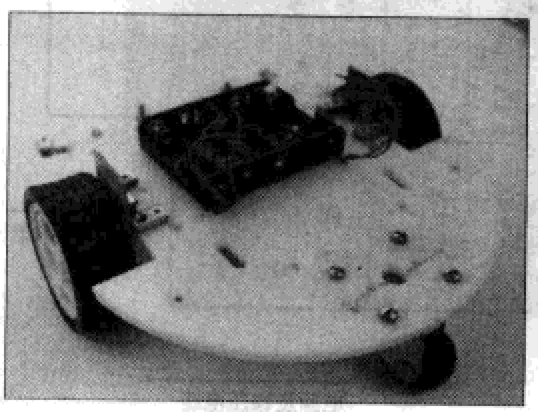
05 安装完轮子之后，减速箱下沿到轮子下沿的距离是21.65mm，如下图所示，加上减速箱的高度22.7mm，减速箱上沿到轮子下沿的距离为44.35mm，差不多等于万向轮45mm的高度。



06 我用洞洞板做了一对减速箱的安装支架，之前的那个减速电机用的也是它们，所以这对支架看起来千疮百孔。图中左侧的支架已经安装到了减速箱上。



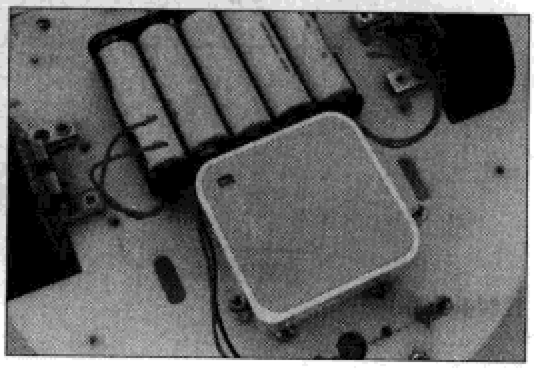
07 这就是安装完电机、减速箱、轮子、电池盒和万向轮后的“闪开”小车了。



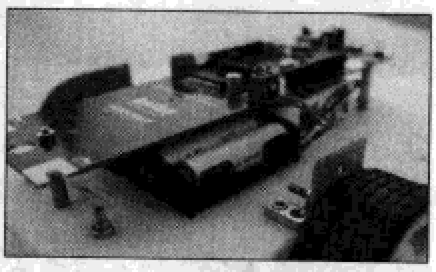
08 我淘汰了之前全手工的控制板，恰好手头有一个RobotShop的Mecanum Rover 2.0，如下图所示，它的控制板也是基于Arduino的，板上还带一个电机驱动，刚好和DFRobot的Romeo功能类似，就用它吧。连接电脑后，将Arduino的代码下载到控制板中，可以在OpenDrone的wiki中下载到源代码，地址为http://wiki.open-drone.org/doku.php?id=wificartutorial3。

09 根据框图，我们还需要路由器，这里使用的是TP-Link的TL-WR703N，路由器内刷的是开源的OpenWRT，安装了USB转串口的驱动、摄像头的驱动及其他相关的软件，详细的安装过程可以参考Wi-Fi小车的视频教程。

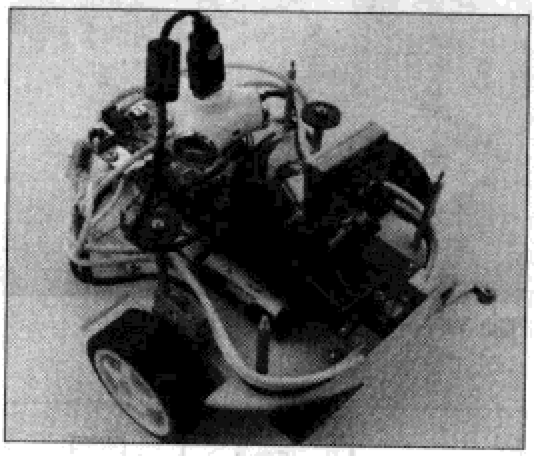
10 由于路由器的体积较小，所以我将它固定在Mecanum Rover控制板的下方。



11 安装控制板。



12 此后我安装了一个USB Hub，将路由器、控制板和摄像头连起来，之所以用USB Hub，是因为路由器上只有一个USB端口。USB Hub架在了控制板上方，它们之间的连接线绕在了小车底板的周围。为了固定线缆和安装最后的“帽子”，我在底板上安装了6根铜柱，完成后效果如图所示。



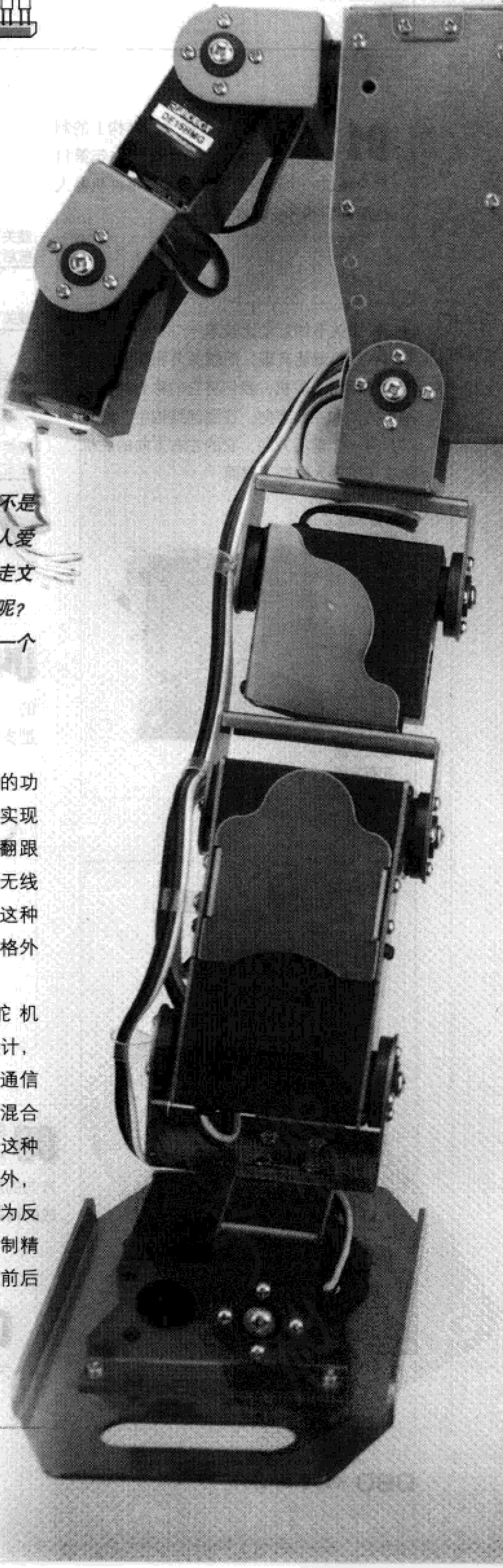
13 最后，给小车装上时尚、前卫、赋有科技感的“帽子”，我的“闪开”改造就算告一个段落了。遗憾的是，现在的“闪开”还不会“说话”，有点名不副实，这将是“闪开”改造工程的下一个重点，然后还要把碰撞开关接到控制板上，摄像头也需要配一个可以转动的云台。

有人说这个“帽子”是“闪开”身上的亮点。我也觉得外观很重要，漂亮的外观是“闪开”成名的重要因素哦。大家如果想做一个属于自己的“闪开”，可以通过《无线电》杂志购买一个3PA小车，然后访问OpenDrone的主页（www.open-drone.org），按照相关信息尝试着自己做一个。

现实版 铁甲钢拳来了!

◇程晨

不知道大家对2012年央视春节联欢晚会上的创意节目《机器人总动员》是不是还有印象，几十个人形机器人在台上翩翩起舞，动作整齐划一。作为一个机器人爱好者，肯定希望拥有这样的一个机器人。但如果这个人形机器人只能跳跳舞，走文艺路线，混文艺圈，那就太没意思了。能不能让人形机器人干点有意思的事情呢？后来有一天和朋友谈起2011年11月上映的电影《铁甲钢拳》时，我萌生了制作一个遥控的格斗机器人的想法。



现在大部分的DIY人形机器人都是用舵机作为关节，包括《机器人总动员》节目中的也是。但是舵机和关节还是有本质不同的，舵机的运动实际上是在一个平面上做180°的旋转，而关节的运动则是以一个点为中心的多轴性旋转运动。所以在人形机器人的制作中，可能需要两个舵机来实现一个关节的功能，通过这些舵机模拟人的动作，实现跳舞、行走、起卧、武术表演、翻跟斗等动作。关于舵机的介绍，在《无线电》杂志2010年第9期中提到过。这种形式的机器人对舵机的要求就显得格外重要了。

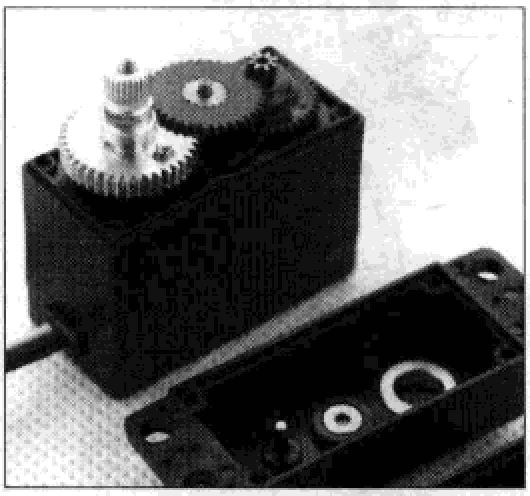


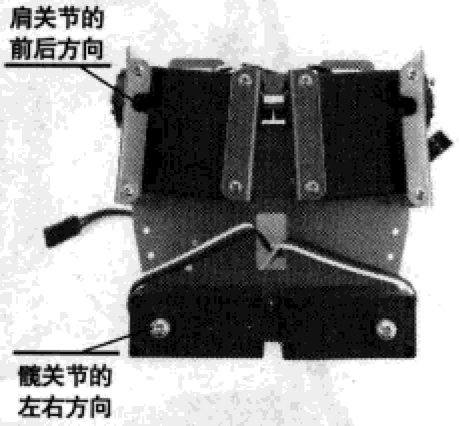
图1 DF15HMG舵机

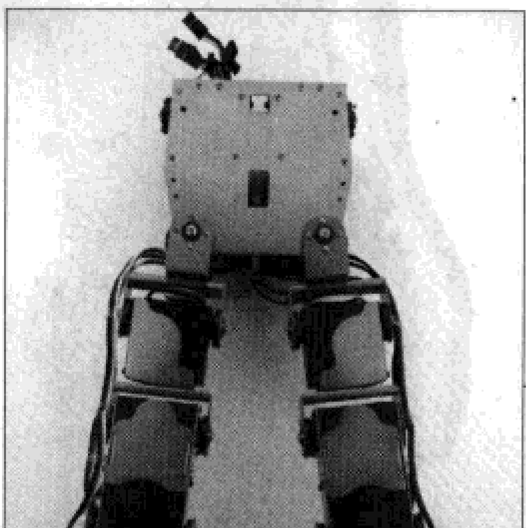
我选择了机器人专用舵机DF15HMG，该舵机采用加厚外壳设计，结构坚固、扭矩大、旋转角度大、通信速度快、主频高，使用了钢和铜的混合齿轮结构（见图1），更耐用，对于这种多关节的人形机器人尤为重要。另外，舵机内部选用了日本进口电位器作为反馈，控制角度可以达到200°，控制精度及其使用寿命更高。标准舵机的前后盖，兼容标准舵机支架。

人形机器人的制作

01 舵机选定以后，就要考虑结构上的制作了。《无线电》杂志在2011年第11期介绍过一个双足机器人，我的格斗机器人的腿部结构和它基本上一样。

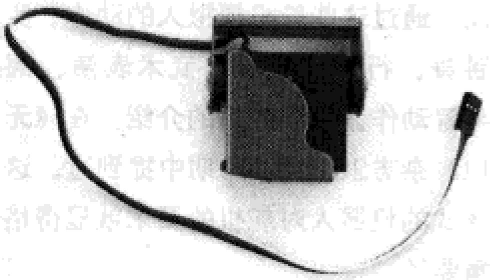
02 膝关节的运动比较单一，我们用一个舵机就能实现，而髋关节和踝关节则需要使用两个舵机，我们将它们称为关节的前后方向和左右方向。在腿部结构中，髋关节只有一个前后方向，它的左右方向的舵机放在了机器人的躯干里面。



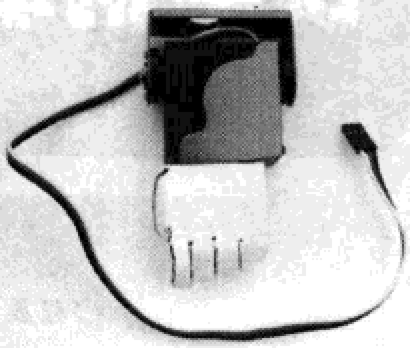


03 躯干部分可以认为是一个正方形的结构件，其中还安装了控制肩关节前后方向的舵机，我们将躯干封上后装在之前完成的两条腿上。

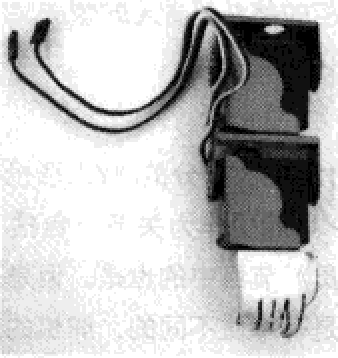
04 胳膊是采用双足机器人的U型支架与标准舵机支架一节一节拼接出来的，首先在一个舵机上安装舵机支架和U型支架。



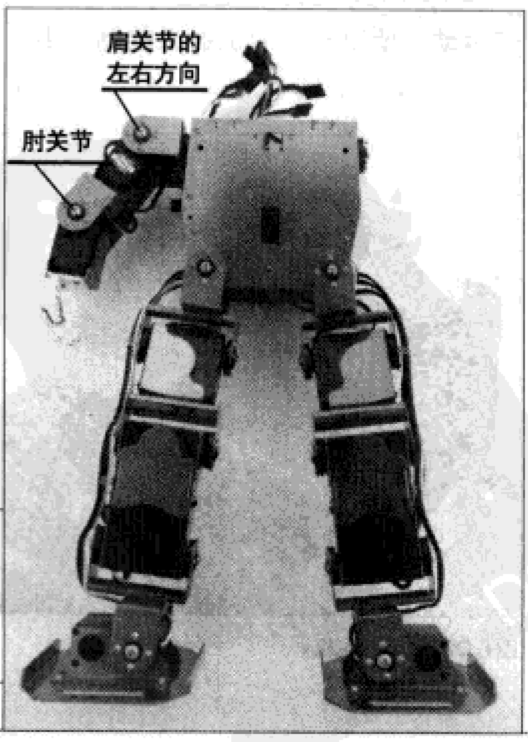
05 这就构成一个胳膊的基本结构，由于受到PVCBOT的影响，手是使用PVC材料做的，直接安装在舵机支架上。



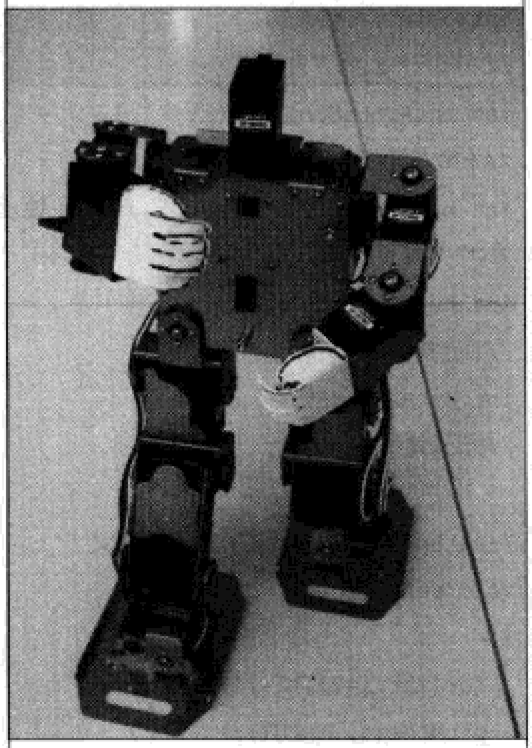
06 在机械臂的设计中我们省略了手腕部分，因为在格斗的动作中，手腕的作用很小，可以将手和小臂看成一个整体。我们在上一步的基础上再加一节胳膊的基本结构即可。



07 这就是我们制作完成的手臂，其中下面的舵机是肘关节，上面的关节是肩关节的左右方向，把它安装在躯干上。



08 使用同样的方法制作另外一条胳膊并装在躯干上，然后再装一个舵机作为机器人的脑袋，这样机器人就有了一个可以左右摆动的头。



这是一个17自由度的机器人，即总共使用了17个舵机。其中腿部使用5个舵机，胳膊使用3个舵机，两条腿和两个胳膊共16个舵机，再加上头部的一个舵机，总共17个舵机。

接下来就是将这些舵机连接到舵机控制板上，通过软件来调整动作。舵机控制板上有一个串行接口，如图2所示，通过它与电脑的串口相连（若电脑没有串口，可以购买一个USB转串口的模块）。

该软件内有一个3D的人形机器人模型，可以直观地反映我们调整各个舵机后机器人的形态，如图3所示。我们可以调节左侧的滑动条，也可以在3D模型上直接选择要调整的舵机，用鼠标滑轮调节。在使用软件之前，需要将舵机连接到对应的控制端口上，否则在使用时可能会出现调整的是胳膊的滑动条，实际上机器人是在动大腿的情况。

前期将舵机连接到对应的控制端口以及调整舵机的初始位置需要花费不少时间，有时可能需要将安装好的结构拆开，再重新组装一遍。好在现在DFRobot已经有了这种组装好的人形机器人套件，买回来之后可以直接进行调整动作的操作。

编辑完成后的动作可以组成一个动作序列，并能够下载到舵机控制板中保存起来，同时可以为该动作序列指定一个串口触发命令。

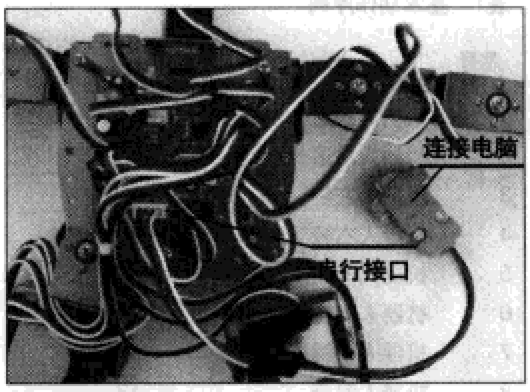


图2 舵机控制板

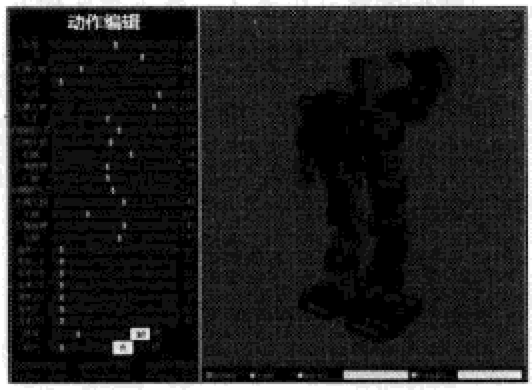
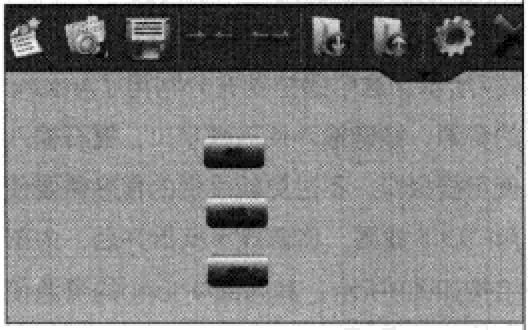


图3 软件界面

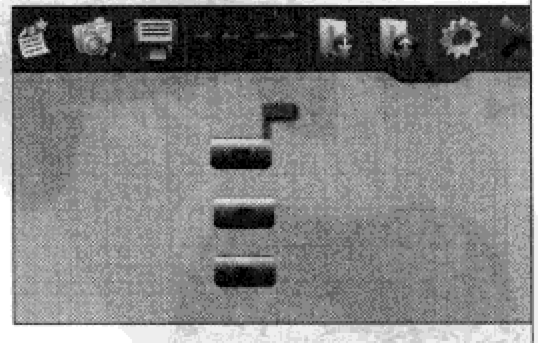
动作序列的制作

动作序列的制作是一项细致、费神的工作，手部的动作还好一些，最起码机器人不会摔倒，腿部的动作就比较麻烦了，如果调整不好，机器人就会重心偏移而摔倒。这里我们来简单地描述一下如何制作一个动作序列。

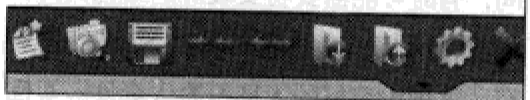
01 假设我们想制作一个图3中敬礼的动作，首先需要将动作分解为一个个的静态姿势。一个敬礼的动作可以分为两步，首先是由两臂下垂，变为右臂抬起做敬礼状，然后再变回两臂下垂姿势。这样就需要3个动作点，我们先在软件界面中放置3个动作标签。



02 双击任意一个动作标签，都会弹出如图3所示的动作编辑窗口，这里我们将中间那个动作标签中的姿态调整为图3所示的敬礼姿势，第一个和第三个动作标签都设定为初始位置状态，即双臂下垂的状态。动作编辑完成后，我们通过鼠标右键的选项将3个动作标签连接起来，并将第一个动作标签设为起始动作。图中小红旗的标志即表示起始动作。



03 最后，可以通过菜单顶部的第6个按钮将动作下载到舵机控制板中。这样一个敬礼的动作序列就制作完成了。



我们的格斗机器人当然不需要敬礼这样的动作，它需要的是移动、闪躲以及出拳的动作序列。通过几天的努力，我终于为它制作好以下几个基本动作序列（见表1）。

考虑到当机器人倒下时，我们希望它能够自己站起来，所以最后还添加了一个向前倒下后起身和一个向后倒下后起身的动作。这些基本动作序列调完之后，我们先将机器人放在一边，来看看遥控端如何处理。

表1 基本动作序列

序号	动作说明	触发指令（ASCII 码）
1	机器人前进一步	1
2	机器人后退一步	2
3	机器人左转	15
4	机器人右转	14
5	机器人向左滑动一步	8
6	机器人向右滑动一步	7
7	机器人下蹲	12
8	机器人起身	13
9	左拳	6
10	右拳	5
11	左臂摆动	4
12	右臂摆动	3
13	向前倒下后起身	9
14	向后倒下后起身	16

遥控端的设计

为了在控制机器人时更有娱乐性，我使用的是基于Arduino的开源游戏手柄，如图7所示。这个遥控器充分利用了Arduino的资源，按键输入使用数字口，摇杆输入使用模拟口，不过更新手柄的程序需要使用FTDI下载器。将游戏手柄拆开后，内部结构如图8所示。其内部Arduino的资源使用情况如表2所示。

图7 游戏手柄外观

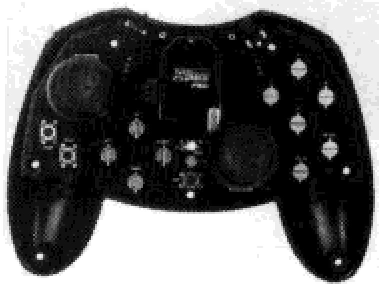


图8 手柄内部

表2 手柄内部Arduino的资源使用情况

序号	按键或功能	Arduino对应端口
1	连接无线模块进行数据传输	D0、D1
2	X键（蓝色按键）	D3
3	Y键（橙色按键）	D2
4	A键（绿色按键）	D5
5	B键（粉色按键）	D4
6	白色按键	D6
7	黑色按键	D7
8	十字键中的UP	D8
9	十字键中的LEFT	D9
10	十字键中的DOWN	D10
11	十字键中的RIGHT	D11
12	Back 键（左摇杆的左下方）	D12
13	Start键（左摇杆的下方）	D13
14	左摇杆	X-A0,Y-A1
15	左摇杆按键	A6
16	右摇杆	X-A2,Y-A3
17	右摇杆按键	A7

知道了手柄上各个按键所使用的资源之后，我们就可以编写手柄的代码了。代码实现了每操作一下手柄，就会发送一个控制机器人运动的命令。

手柄操作程序

```
//定义变量
int joyLV,joyLH;
//左摇杆的X、Y方向数值
int joyRV,joyRH;
//右摇杆的X、Y方向数值
int butA,butB,butX,butY;
//手柄右侧X、Y、A、B四个按键
int butW,butBL,butU,butD; //十字键上的4个方向
int butWH, butBL;
//白色键和黑色键
int butBA,butST;
//Back键和Start键

//setup函数，初始化数字端口为输入
void setup()
{
  for(int i=2;i<14;i++)
  pinMode(i, INPUT);
//将2~14脚设为输入
  Serial.begin(57600);
//设置波特率为57600
}

//loop函数，获取各个按键的状态
void loop()
{
   joyLV = analogRead(A0);  //读取模拟量
   joyLH = analogRead(A1);
   joyRV = analogRead(A2);
   joyRH = analogRead(A3);

  butA = digitalRead(5);  //读取数字量
  butB = digitalRead(4);
  butX = digitalRead(3);
  butY = digitalRead(2);

  butU = digitalRead(8);
  butD = digitalRead(10);
  butL = digitalRead(9);
  butR = digitalRead(11);
```

```
  butWH = digitalRead(6);
  butBL = digitalRead(7);
  butST = digitalRead(13);
  butBA = digitalRead(12);

  if( joyLV > 679) //当左边摇杆向上时(A0口的AD值大于679)
  {
    Serial.write(1);//手柄向机器人发送1，机器人将做出前进的动作
  }
  else if(joyLV < 338) //当左边摇杆向下时（A0口的AD值小于338)
  {
    Serial.write(2); //手柄向机器人发送2，机器人将做出后退的动作
  }
  if( joyLH > 682) //当左边摇杆向左时(A1口的AD值大于682)
  {
    Serial.write(15); //手柄向机器人发送15，机器人将做出左转的动作
  }
  else if(joyLH < 340) //当左边摇杆向右时（A1口的AD值小于340)
  {
    Serial.write(14); //手柄向机器人发送14，机器人将做出右转的动作
  }
  if(butA == 0)//按下手柄A键
  {
    Serial.write(4); //手柄向机器人发送4，机器人将做出左摆的动作
  }
  if(butB == 0)//按下手柄B键
  {
    Serial.write(3); //手柄向机器人发送3，机器人将做出右摆的动作
  }
  if(butX == 0)//按下手柄X键
  {
    Serial.write(6); //手柄向机器人发送6，机器人将做出左拳的动作
  }
  if(butY == 0) //按下手柄Y键
  {
    Serial.write(5); //手柄向机器人发送5，机器人将做出右拳的动作
  }
  if(butU == 0) //按下手柄上键
  {
    Serial.write(13); //手柄向机器人发送13，机器人将做出起身的动作
  }
  if(butD == 0) //按下手柄下键
  {
    Serial.write(12); //手柄向机器人发送12，机器人将做出蹲下的动作
  }
  if(butL == 0) //按下手柄左键
  {
    Serial.write(8); //手柄向机器人发送8，机器人将做出左移的动作
  }
  if(butR == 0) //按下手柄右键
  {
    Serial.write(7); //手柄向机器人发送7，机器人将做出右移的动作
  }
  if(butBA == 0) //按下手柄的back键
  {
    Serial.write(16); //手柄向机器人发送16，机器人将从后爬起
  }
  if(butST == 0) //按下手柄的start键
  {
    Serial.write(9); //手柄向机器人发送9，机器人将从前爬起
  }
 delay(100);
}
```

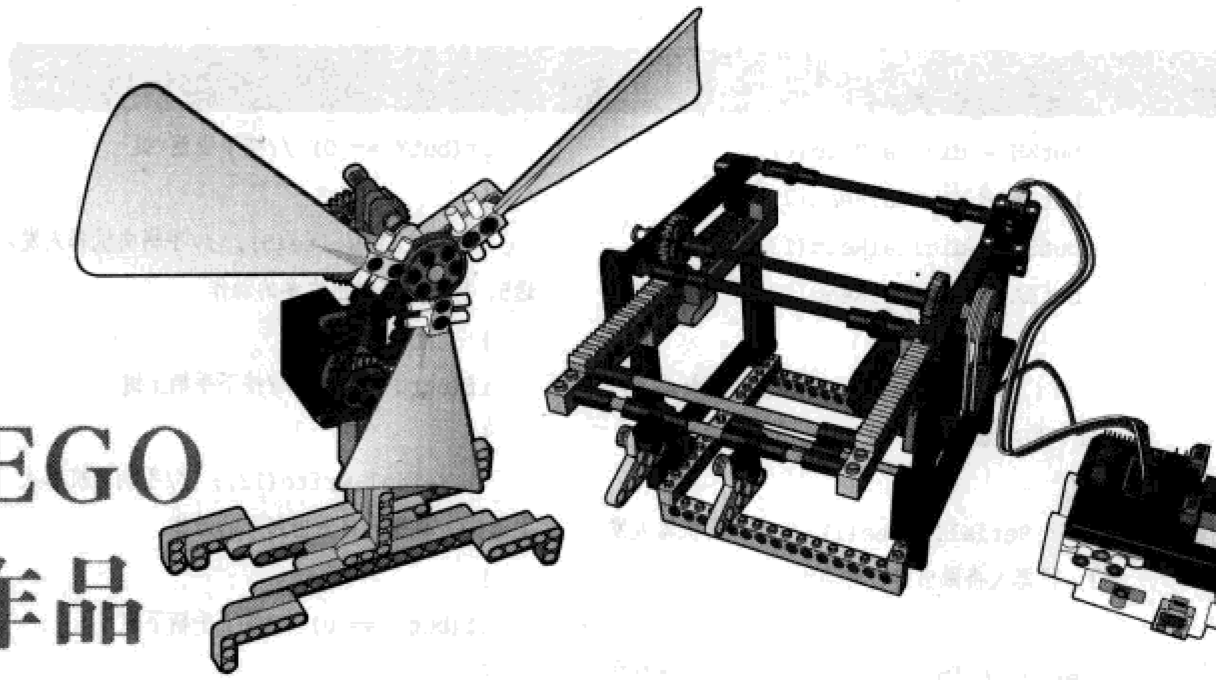
图9 DFduino wireless模块

程序下载完成后，每当我们操作手柄时，就会发送一条控制指令到D1口，那么这个指令如何传输给机器人呢？我们发现这个开源的游戏手柄能够连接XBee接口形式的无线模块，于是就利用了这个接口。我使用的是DFduino wireless模块（见图9），这个模块在《无线电》2011年第3期上作过介绍，它最大的优势是除了可以进行无线数据传输外，还可以作为Arduino的无线编程模块，在Arduino不便连接或根本无法连接USB线缆的情况下，对其进行编程。这个特点非常适合这个手柄的使用情况，因为我们无法在合上外壳的情况下使用FTDI下载器对手柄进行编程，每次编程都需要打开外壳、下载程序，然后再合上外壳、拧上螺丝，如果使用DFduino wireless，我们就可以在不打开手柄外壳的情况下完成程序下载。当然大家也可以使用其他无线模块，如APC220、蓝牙等。

手柄端完成后，再找一个配对好的DFduino wireless连接到舵机控制板的串行通信口上，遥控格斗机器人就基本成型了。当我将手柄上的左侧摇杆向上推时，手柄会发送命令“1”，这个命令通过DFduino wireless传送给舵机控制板，舵机控制板收到命令后就按照内部存储的“1”所对应的动作开始执行。其他操作的执行过程与此类似，这样我们就可以遥控这个人形机器人格斗了。

虽然我们的格斗机器人基本成型了，但是造型上还有点简陋，下一次我们会进一步地完善它。

◇宜昌城老张 ◇插画：刘少冉



Arduino与LEGO结合的创意作品

——温控风扇和光感应晾衣架

现在国内网络上流传的Arduino创意作品大多是纯电子器件的，其实Arduino应用在机器人上是一个重要方向，如何给Arduino电子积木创意工具找到一个百搭性的机械平台，使Arduino的机器人应用可行性更好，是一个需要思考的问题。

网上某些公司和机械加工高手做了一些机械结构件配合Arduino的应用，也可以做出很好的机器人作品，特别是多自由度机器人。但是这些机械结构件百搭性不够，每一个套件也只能完成一两个作品的创建。乐高（LEGO）积木中与机器人相关的是Mindstorms系列和Technic系列，这两个系列中的机械结构件都充分考虑到了机器人原型作品的搭建特点，而且乐高的结构件种类颇多，不需要借助任何特殊的工具，就可以通过双手创意出你希望的作品来。所以我们能不能把丰富的Arduino电子积木与百搭的乐高积木结合起来，扩展Arduino的应用，使Arduino系统可玩性更高呢？这篇文章就想做一下这方面的探索。

Arduino控制器与乐高电池盒的结合

首先谈谈Arduino控制器与乐高Technic电池盒结合的问题，通过乐高电池盒给Arduino控制板供电，集成出如图1所示的一个体积最小化的Arduino控制系统。

图1 乐高电池盒供电下的Arduino控制器

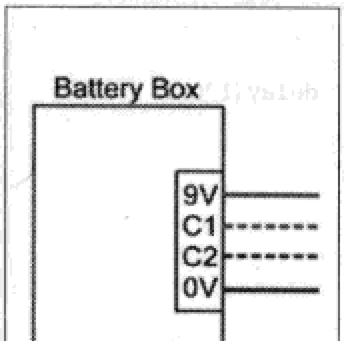


图2 乐高Technic电池盒电源线的组成

这次创意作品采用的是DFRobot出品的Arduino UNO控制板、XBee传感器扩展板V5和360°连续旋转舵机。由于舵机驱动需要较大电流，所以单独给Arduino供电并驱动舵机，会使Arduino控制板上的电源芯片发热甚至烧毁。最好采用两套电源：一套电源用9V方形电池，通过电源线上的插头插到Arduino控制板的圆形插孔中，给Arduino控制板供电，另一套电源用乐高Technic电池盒单独给Arduino控制板上层叠的传感器扩展板上的舵机电源端子供电，来驱动舵机，XBee传感器扩展板可以自动隔离两套电源。记住舵机供电电压不能超过7.2V，在乐高Technic电池盒里，我装上了6节5号充电电池，每节充电电池的最大电压是1.2V，6节电池的电压正好小于7.2V。

乐高Technic电池盒的电源线由4根线组成，最边上的两根线是电源的VCC线和GND线，参见图2。至于哪根线是VCC线，哪根是GND线，用万用表量一下，就可判断出来了。然后我用红、绿电工胶布分别标识了电源线的正、负极，并把没用的另两根线绝缘了。

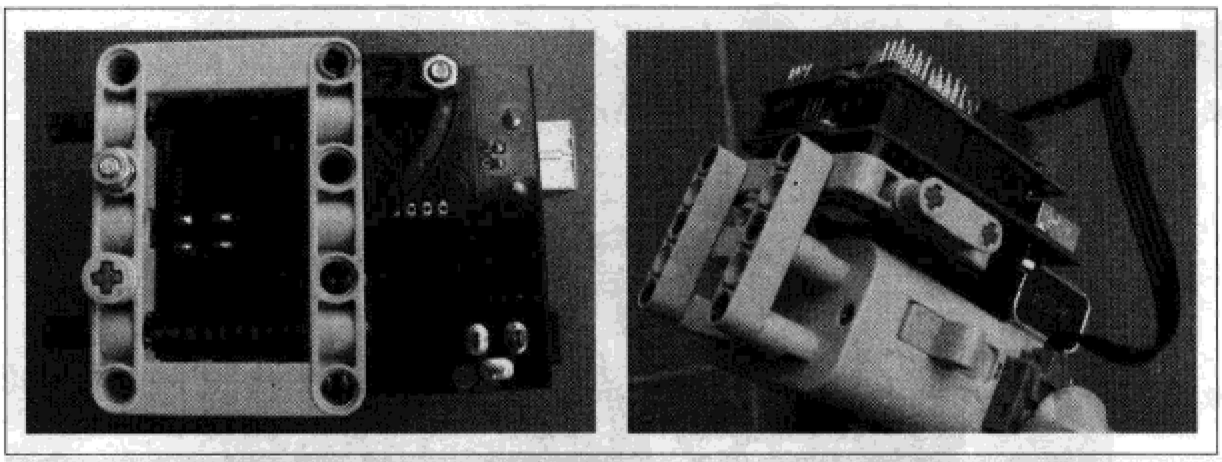


图3 Arduino控制板与乐高结构件的结合

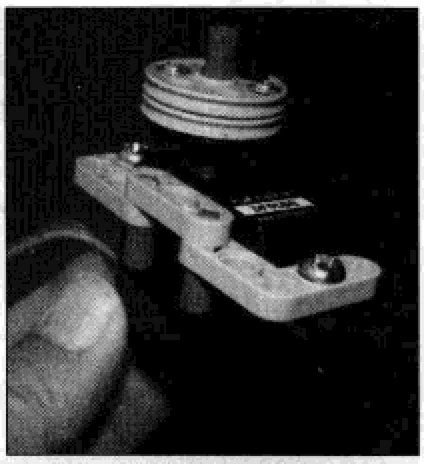


图4 舵机与乐高结构件的结合

观察Arduino控制板上安装孔的位置和距离，找到匹配的乐高结构件，把它们的孔位对准，用螺丝、螺母紧固，于是Arduino控制板与乐高结构件也结合起来了，如图3所示。

舵机与乐高结构件的结合

乐高的皮带轮零件与舵机圆盘连接器的孔正好可以对上，我用了两个自攻螺丝把它们连接起来，然后通过皮带轮零件的十字孔和周围的圆孔来连接其他乐高零件，于是皮带轮零件就成了舵机的输出轴，如图4所示。这个输出轴可以带动任何乐高结构件（负载）转动，例如乐高风扇和皮带运输机等。

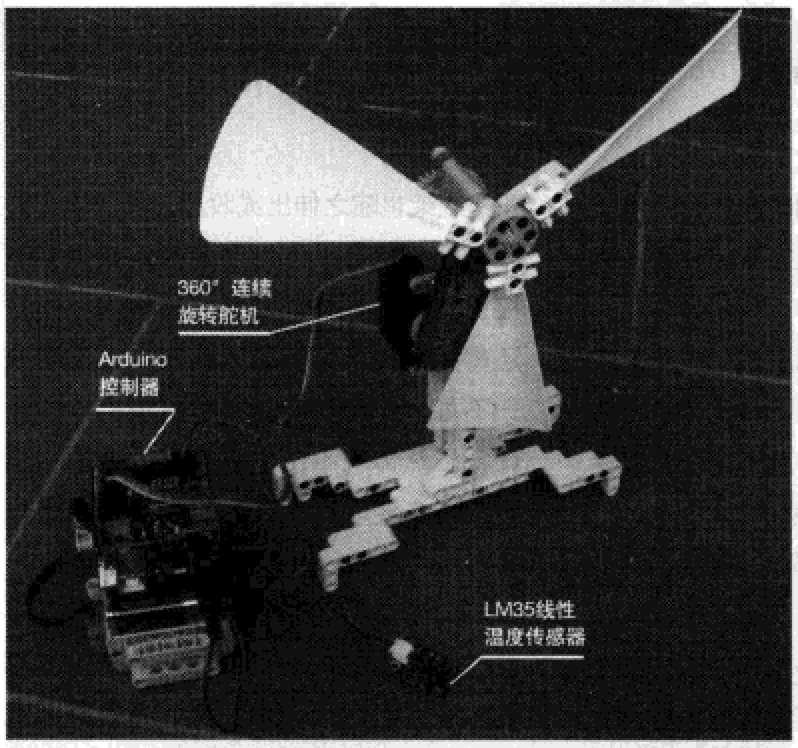


图5 温控风扇全景图

舵机有很多规格，但所有的舵机外接的3根控制线，分别用棕、红、橙3种颜色进行区分，棕色为接地线，红色为电源正极线，橙色为信号线（由于舵机品牌不同，颜色可能会有所差异）。把舵机的控制线插接在XBee传感器扩展板的数字端口上，插接方向要根据扩展板的标注来确定。把棕色线插在GND端子上，把红色线插在VCC端子上把橙色线插在D端子上。

温控风扇作品制作

这次的温控风扇就是Arduino与乐高结合的尝试，电控完全靠Arduino，机械完全靠乐高，两者通过360°连续旋转舵机来接口，如图5所示。

实验任务是：用手指温度捂热 LM35线性温度传感器，当Arduino控制器采集到的温度值超过32℃时，给舵机发出驱动命令，舵机带动风扇旋转，如果手指移开传感器，过一会，传感器表面温度下降，则风扇停转。

LM35线性温度传感器是基于半导体的温度传感器。LM35线性温度传感器可以用来检测周围空气的温度。这个传感器是由美国国家半导体公司生产，检测温度范围为0~100℃，输出电压与温度成正比，灵敏度为10mV/℃。它是典型的模拟量传感器，可以直接用analogRead()命令把温度数据采集到Arduino控制器里进行处理。

而360°连续旋转舵机则采用servo.write（speed）命令来驱动，speed值的范围是0~180。如果speed值为93，则舵机停转，如果speed值为0，则舵机全速正转，如果speed值为180，则舵机全速反转。连续旋转的舵机，执行myservo.write(90)，舵机的速度可能不为0。我手头的舵机，执行myservo.write（93），舵机的速度才为0。

由于普通舵机的输出轴与机械结构件孔位之间的距离不是乐高孔距的整数倍，舵机输出轴与机械结构件之间无法直接用乐高齿轮来传动，所以我采用了如图6所示的链轮机构，不仅可以解决传动链安装问题，而且由于两个链轮之间被链条包裹起来了，传动刚度也得到了加强。

光感应晾衣架作品制作

光感应晾衣架这个作品所完成的任务是：当光敏电阻检测到有阳光照射时，衣架在舵机的带动下伸出，如果你用手遮住光敏电阻，模仿天色变暗，衣架便会收起，具体构成如图7所示。

光敏电阻可以用来检测周围光线的强

温控风扇Arduino程序

```
#include <Servo.h> //声明伺服舵机函数库
Servo myservo;// 定义伺服舵机对象
//初始化
void setup()
{
  myservo.attach(9);//初始化9号数字量端口来控制舵机
  myservo.write(93);//舵机停转
}
//主程序
void loop()
{
  int val;
  int dat;
  val=analogRead(0);//采集连接在0号模拟量端口上温度传感器的数据,
  dat=0.488*val;//把从传感器采集的数据正比转换为温度值
  //Serial.println(dat);
  if(dat>32)//如果温度值大于32℃
  {
   myservo.write(180);//舵机全速旋转
  }
  else//否则
  {
   myservo.write(93);//舵机停转
  }
  delay(500);//延时0.5s
}
```

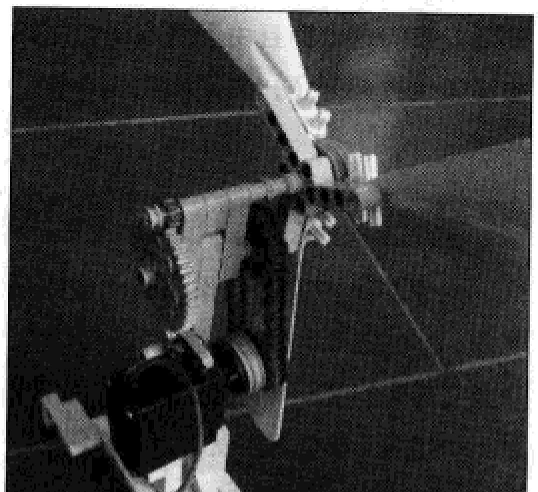


图6 温控风扇传动链的安装细节

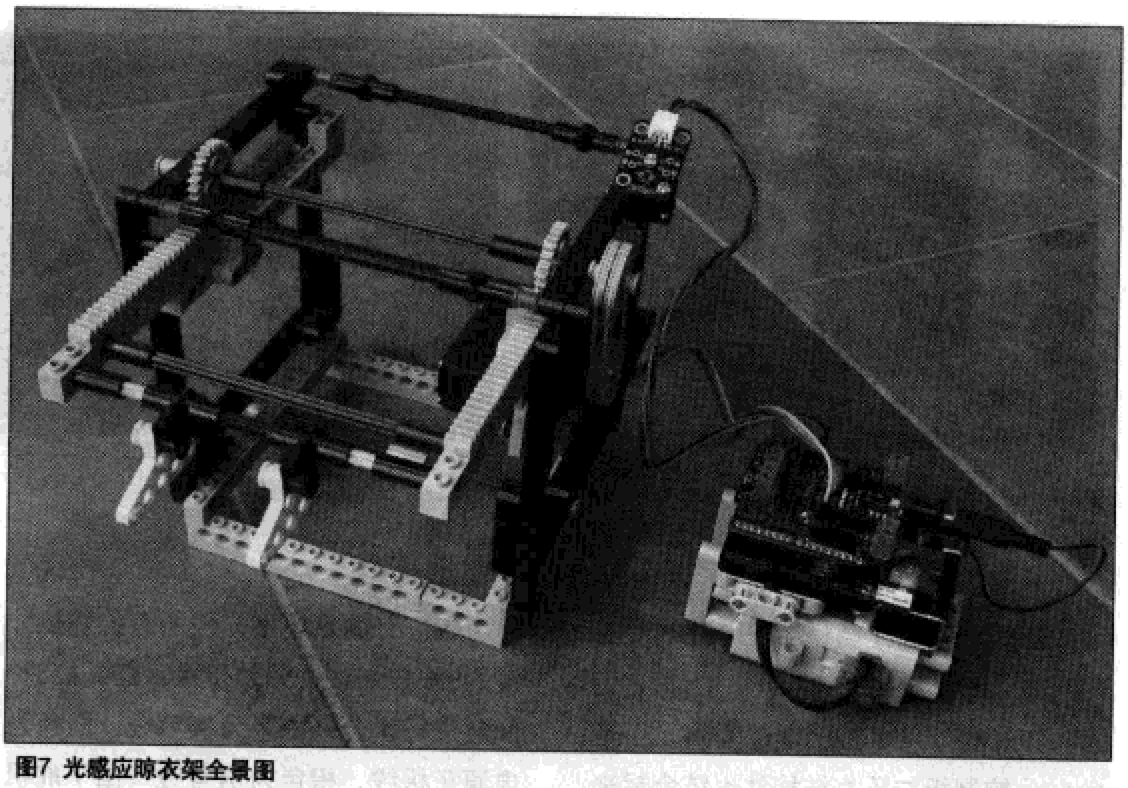


图7 光感应晾衣架全景图

图8 光感应晾衣架作品的电控部件

度，它的阻值随光线的明暗变化而变化，转换出来的输出电压也随之变化，黑暗中将输出一个较高的值。

光感应晾衣架作品用到的电控设备有4个，分别为：Arduino UNO单片微机控制板、XBee传感器扩展板、360°连续旋转舵机和光敏电阻，如图8所示。

光感应晾衣架主体部分的搭建，参见图9。从机械结构上看，360°舵机带动皮带轮机构，使齿轮齿条机构工作，齿轮在固定的轴上旋转，驱使齿轮的齿与齿条的齿啮合，导致齿条在导轨上前后滑动，于是衣架也随之伸出或收起。

一个机电一体化作品，不仅需要电控设备的选择和软件程序的编制，而且还需要机械结构的设计和制作，三者缺一不可。一个较为复杂的机械机构的设计，虽然体现不出什么高深的理论，但需要许多经验和大量的实践，并不是一件容易的事。

我在《无线电》杂志2012年第7期上曾经发表了《新车间Arduino图形化编程软件——ArduBlock》一文，这段时间也经常使用ArduBlock软件进行编程，感觉

光感应晾衣架Arduino程序

```
#include  <Servo.h> //声明伺服舵机函数库
Servo myservo;  // 定义伺服舵机对象
int sensorPin =0;//声明光敏电阻传感器连在模拟量端口0
int flag=0; //声明变量，存储衣架伸出或者收起的标志
int light_val;//声明变量，存储光敏电阻模拟量数据
//初始化
void setup()
{
   myservo.attach(9);   //初始化9号数字端口来控制舵机
}
//循环执行主程序中的指令
void loop()
{
   //光敏电阻，天色光线越弱，采集得到的光敏电阻数据愈大
   light_val=analogRead(sensorPin); //读取光敏电阻的数据
   //如果阳光出来了，并且衣架处于收起状态
   if(light_val<=100 && flag==0)
   //变量light_val的参数值应根据当天的光线，通过测试来确定。
   {
    myservo.write(0); // 启动舵机正转
    delay(2000); // 等待2s，让衣架伸出到位
    flag=1; //标志衣架处于伸出状态
    myservo.write(93);  //舵机停止
   }
   //如果阴天，没有阳光，并且栏杆处于伸出状态
   if(light_val>100 && flag==1)
   {
    myservo.write(180);// 启动舵机反转
    delay(2000);// 等待2s，让衣架收回到位
    flag=0; //标志衣架处于收起状态
    myservo.write(93);// 舵机停止
   }
}
```

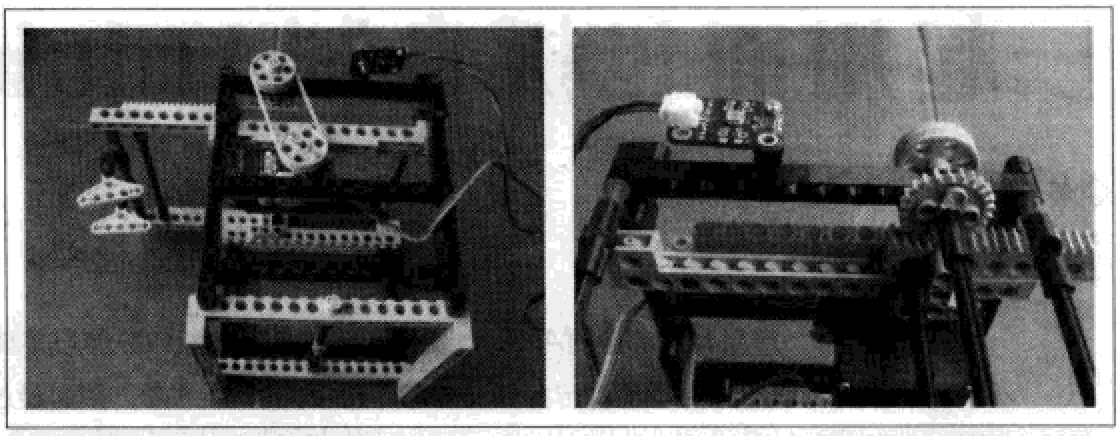


图9 光感应晾衣架的主体部分搭建

很好用，直观形象，编程工作仿佛变成了拼图游戏，一个个模块按照你的逻辑不断“咔咔”地拼接在一起，如果拼接能严丝合缝，就不用担心出现语法错误，但是否出现编程逻辑错误，就看你是否经过了适当的编程训练了。

现在我用中文版ArduBlock软件，根据任务要求，编写了图形化的程序，如图10所示，注意看，模块标识和程序注释都是简体中文的。这里也给出光感应晾衣架的Arduino程序，可以与ArduBlock程序对照来看。

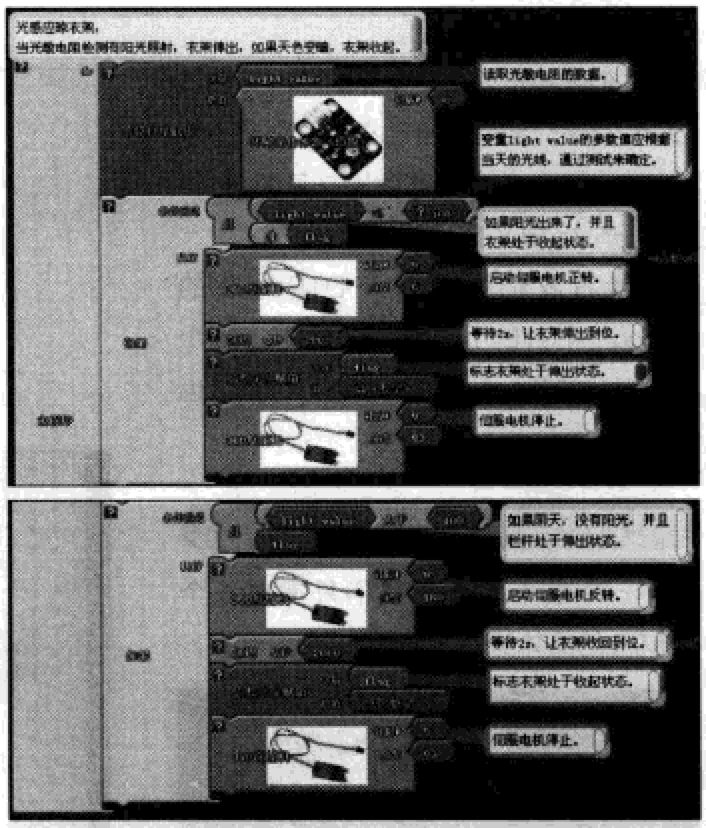


图10 光感晾衣架作品的ArduBlock程序

结束语

MIT（美国麻省理工学院）的Neil Gershenfeld教授提出了“个人制造”的概念：电脑主机从占地百十亩、重量几十吨到小得一个桌上能摆好几个，这个桌面革命用时不到几十年，在不久的未来，自己用电脑芯片做小玩意将是下一个桌面革命。

他判断那些造价昂贵且具有巨型电脑主机的专业工具，也会像当年几十吨的主机渐进到当今几千克的个人电脑一样，变得能够让普通人轻易接触，从而让人人都能拥有和操作工具，制造属于自己的电脑，或者任何东西，甚至自己在家里造一台iPhone。

现在Arduino和乐高套件都是“个人制造”的好工具，这类工具有电脑控制器、电机、传感器，还有工程机械构件，用它们可以制作出你设计的个性化“电脑”。

由个人制造的电脑设备，跟商用PC的最大不同在于，它可以是任何你所希望的形状，有着为你量身定做的功能。也就是说，它不再是全功能的设备，只为处理某件对于我们特别重要的事项而诞生，甚至它不再被叫做电脑，而是温控风扇或者光感应晾衣架。

一起用面包板自制Arduino吧！

◇郝弘毅

各个Arduino产品其实都是对Arduino最小系统的各种功能的扩展与集成，万变不离其宗，如果自己会做Arduino最小系统了，就可以很方便地定制出特殊功能的专用Arduino。另外，相信通过这篇文章，大家也会改变“Arduino就是买来的一块控制板”的印象。

我们就用市面上最常见的ATmega8芯片来介绍怎样自己搭建一个最小系统。先来看一下芯片实物图（见图1），这是一个标准DIP封装的ATmega8。

然后我们再看一下DIP封装的ATmega8芯片的引脚图（见图2），每个引脚对应的是Arduino的哪个端口，图上也已经标出。

硬件连接

一个最小系统，我们只需要一个16MHz的晶体振荡器与两个22pF电容，

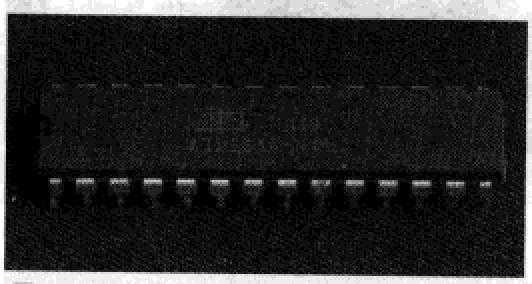
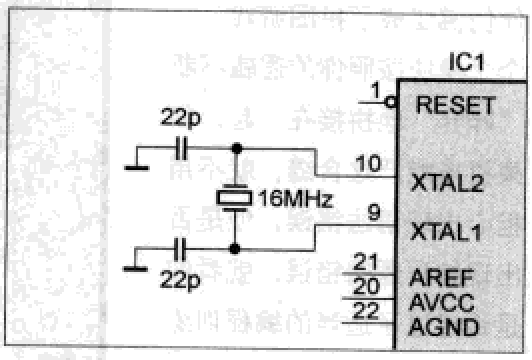


图1 DIP封装的ATmega8



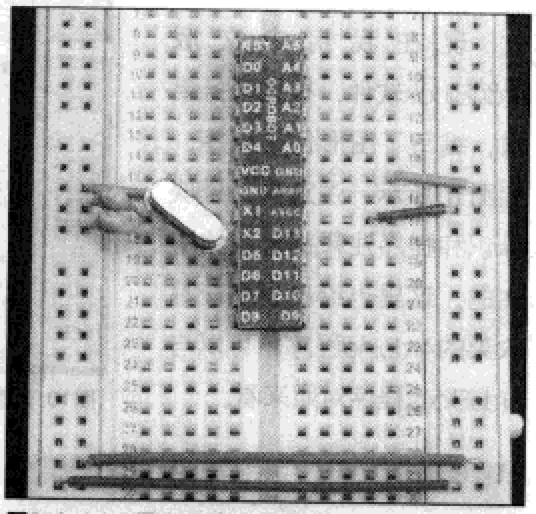


图3 Arduino最小系统连接方法

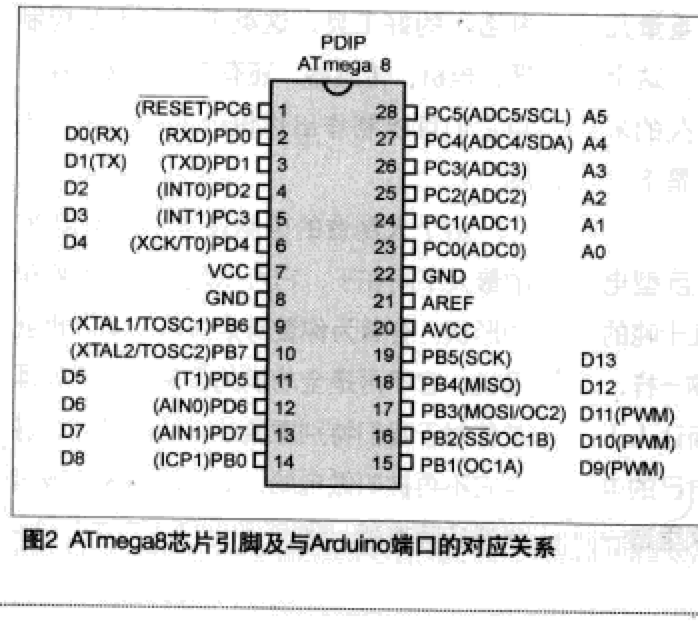


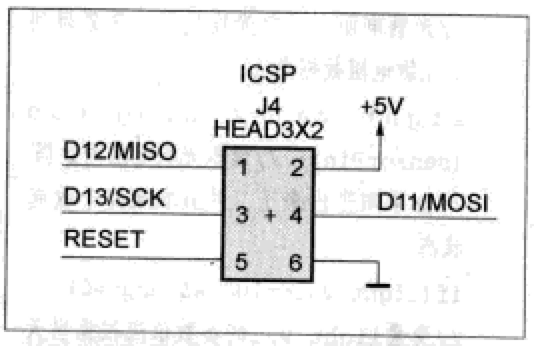
图2 ATmega8芯片引脚及与Arduino端口的对应关系

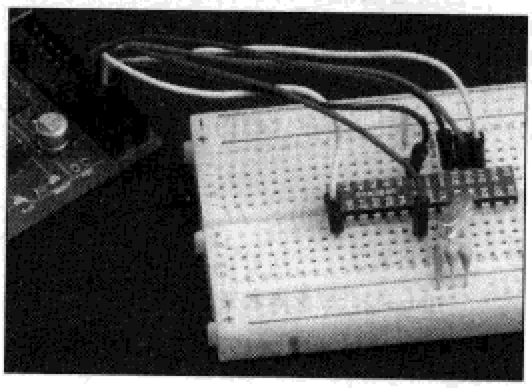
按照如图3所示的样子连接9、10引脚即可，大家可以参照在面包板上的实物连接来看。

最小系统的硬件部分其实就这么简单，但是Arduino之所以叫做Arduino，并不单单是硬件，一定要有配套的软件，我们现在就用Arduino 1.0.1 IDE把Bootloader下载进这个最小的硬件系统。

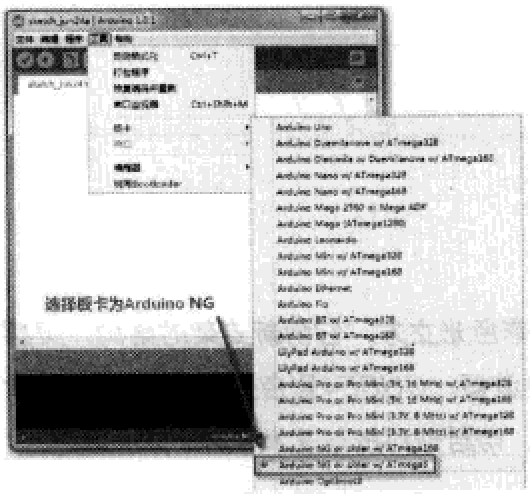
通过下载器下载程序

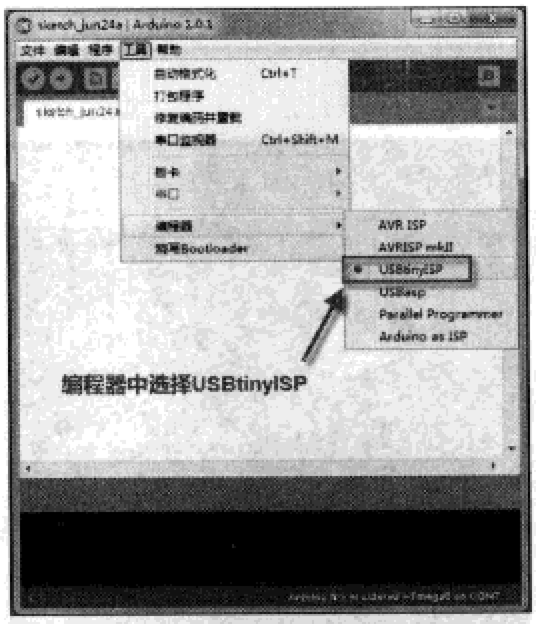
1. 下载器使用USBTINYISP，ICSP的1号口接D12，3号口接D13，5号口接RESET，2号口接VCC，4号口接D11，6号口接GND。



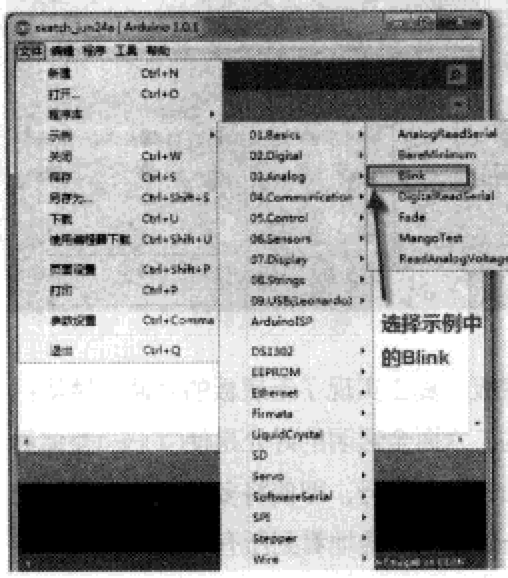


2. 先把USB线接上，给USBTINYISP安装驱动后，我们点击进入Arduino 1.0.1 IDE，“板卡”选择“Arduino NG or older w/ATmega8”，“编程器”选择USBTINYSIP，点击“烧写Bootloader”，就可以看到下载器的BUSY灯开始亮，不到1min，Bootloader就下载好了。

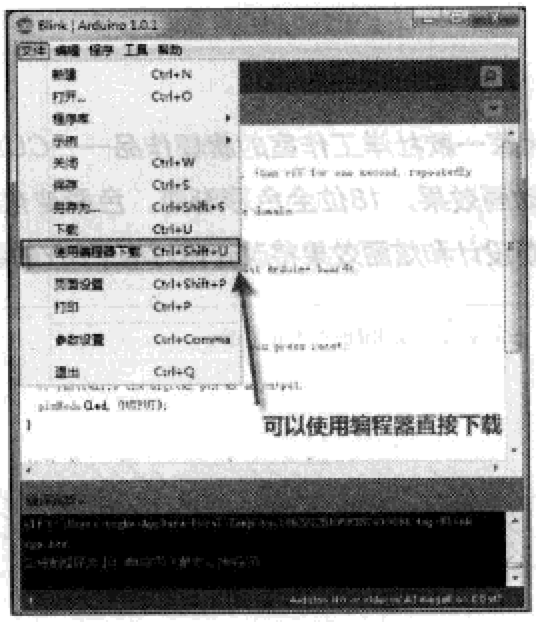




3 然后我们打开官方例子里的BLINK代码，也就是让D13引脚输出1s高电平，然后输出1s低电平，循环往复。如果D13引脚接上一个LED，就会有闪烁的效果。



4 这里很关键，编译程序后，选择“文件”里的“使用编程器下载”，如图7所示。下载好以后，给D13引脚接上一个LED，就可以看到LED在闪烁了。

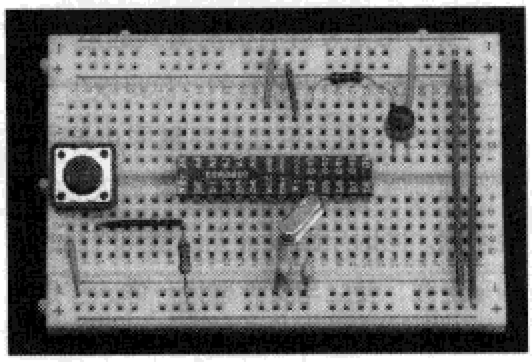


通过串口下载程序

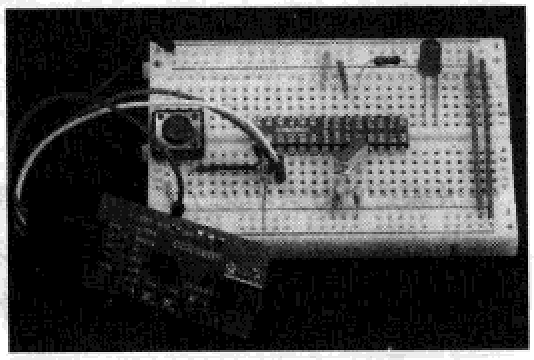
除了使用编程器下载，我们也可以对下载好Bootloader的最小系统通过串口下载，但是因为面包板电路的电器环境比较差，无法使用高速通信的Bootloader，所以如果要进行下面的最小系统实验，我们还需要更换0022版本的IDE。

1 首先，按照上面的步骤重新给ATmega8芯片刷0022 IDE的Arduino NG控制板的Bootloader（此Bootloader速度慢一些，但是容易实现手工复位下载程序）。

2 我们给D13引脚串联一个220Ω的电阻和一颗LED（用作指示灯），给RST引脚串联一个10kΩ电阻，接VCC，同时再给RST引脚接一个按钮，按钮另一端接GND，用来做手工复位。

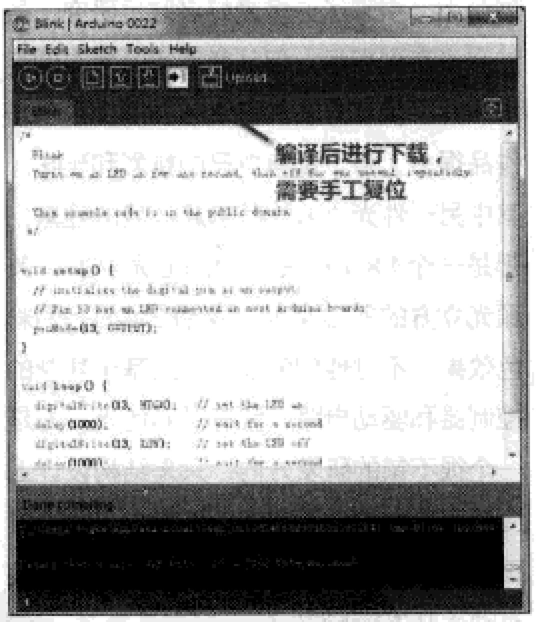


3 然后，我们把USB TO TTL的VCC接最小系统面包板上的VCC，GND接GND，TX接D0，RX接D1。



4 运行Arduino 0022 IDE，“板卡”选择“Arduino NG or older w/ ATmega8”，选好识别出来的端口号，同样选择BLINK程序例子，编译，下载。

5 请注意，下载时有一个最关键的步骤，那就是在点击下载按钮后，要立刻按一下面包板上的复位按钮，程序才可以正常下载。下载好以后，我们就可以看到LED在闪烁了。



Arduino最小系统只是一个系统运行的最低要求，其他可以根据自己的实际需要进行扩展，做出个性化的Arduino。

制作CUBE4彩色光立方

◇杜洋

大家好，好久不见了。今天我将带给大家一款杜洋工作室的旗舰作品——CUBE4彩色光立方。它创新支架的结构，灵感源于大自然。环境声光感应，随音乐切换动画效果。18位全色彩渐变，色彩变化细致流畅。CUBE4彩色光立方（以下简称CUBE4）并非一般的电子DIY项目，它的创新设计和炫丽效果将改变你对电子DIY的看法，带给你科技与艺术浑然一体的震撼。

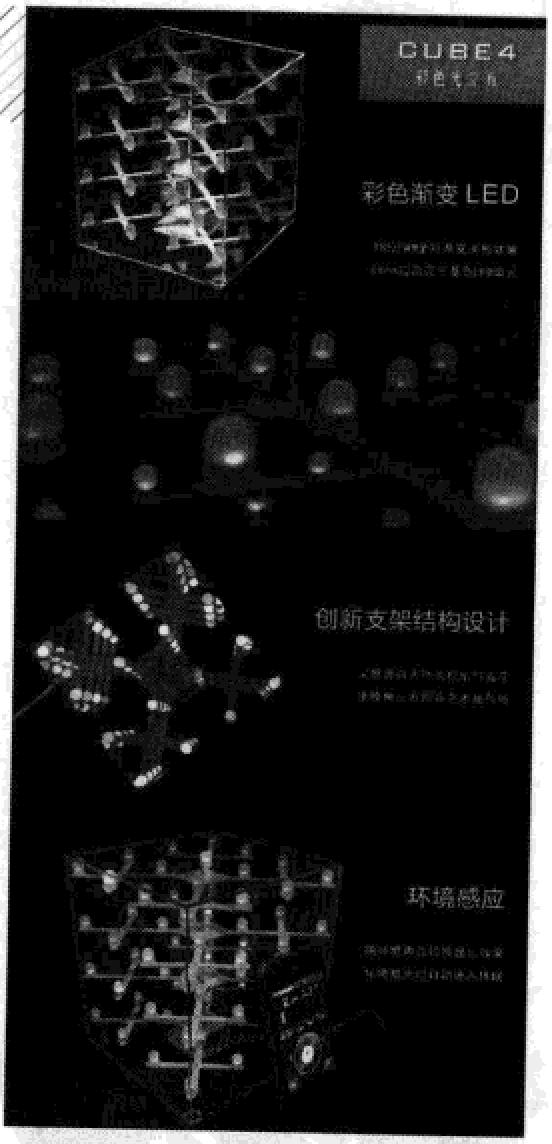
CUBE4彩色光立方演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XNDI3NDA1Mjlw.html

功能与创新设计

在介绍CUBE4之前，我先要感谢一下《无线电》的编辑老师，因为是他们给了我制作CUBE4的机缘和动力。时间回到几个月前举办的深圳制汇节上，《无线电》的编辑们把我的CUBE8光立方放在了展台上，引来了许多爱好者驻足研究。虽然我没有到现场，但从微博实时发布的现场照片让我有身临其境之感。展会的创新作品很多，各个都有自己的精彩和玩味。其中另一件光立方作品引起了我的注意，那是一个4×4×4的三色LED光立方，兼顾光立方的3D立体感，又有三色LED的彩色效果。不过他们的设计还是基于复杂的控制器和驱动电路，我感觉彩色光立方是一个很不错的研发方向，只是结构设计上应该有更大的创新空间。不过由于我当时正在制作其他作品，工作还很忙，也就没有动手开发CUBE4。

后来的几天里，《无线电》的编辑老师在微博上不断发布制汇节现场的照片，并@我，还问我什么时候也做个CUBE4。当着微博上这么多“粉丝”的面，我可不能示弱。于是虚荣心跑出来作祟，一时冲动地回复：这有何难，我就做一个更有创意的CUBE4给你们看看。此言一出，引起了大家的关注，我却开始后悔，因为在现有的光立方结构上创新，难度很大。我们已知的方案是把LED灯的引脚直接作为支架，还有一种是通过横纵方向的PCB框架搭建，类似于脚手架。如何在现有的方案中突破创新呢？我开始运用“潜意识思考”。经过了一个月的设计，终于从大自然中得到灵感，借鉴松树的树枝结构和雪花的晶体形状，CUBE4的基本框架确定了。又经过2个月的程序开发和调试，最终完成了CUBE4的开发。发布后的第一件事就是发微博@《无线电》官方微博，我说：经过了3个月的努力，我们交卷了。哈哈，这个举动很像小孩子，可正是因为我保持着这份童真，才让我有更多的热情和灵感去专注电子制作的创新。

CUBE4彩色光立方最具创新之处便是它独特的支架结构，支架结构的灵感源自天然的松柏与雪花，使棱角立方别具艺术品气质。这是我第二次借鉴大自然的灵感了，第一次是借鉴四叶草的结构，设计出了易于锡接走线的LEAF32系列洞洞板。我们电子爱好者都能看到的电子DIY作品大多都是横平竖直的，总是缺少艺术感。CUBE4的支架结构尽量采用导圆角和不规则PCB形状，打破大家对PCB的死板印象。同时电路设计充分借用PCB的结构来走线，使之与支架融为一体。正是因为这样的结构，使得CUBE4没有整面的



底板，真正实现了无底板的六面全透明结构。六面全透明的好处是使CUBE4整体看上去更加轻巧，即使将多个CUBE4摆放在一起也能通透地看到所有的LED光点。

CUBE4的第二大创新是直接使用单片机驱动的18位真彩色显示。依然采用了杜洋工作室的精简设计方案，让三色

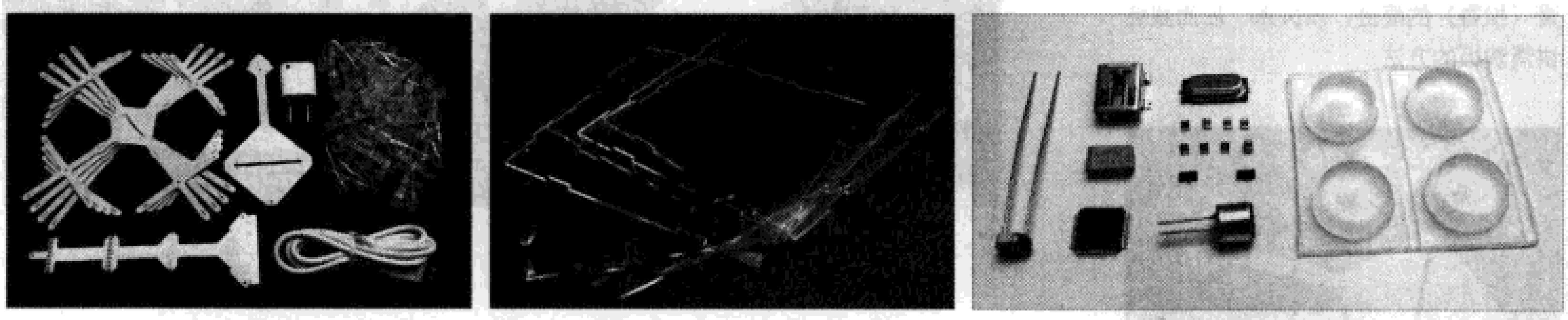
LED灯的驱动仅需要一个单片机。在电路精简的同时还能实现18位真彩色的显示效果，在CUBE4显示动画时，它的亮度和颜色渐变非常细致、流畅，发挥了51单片机所能达到的最高性能。而我们在图形动画的设计上也下了很大功夫，因为CUBE4的点阵数量仅是CUBE8的1/8，所以能在CUBE4上表现的图形也很有限。幸好CUBE4是彩色的，用颜色的炫彩变化弥补了点阵数量的不足。我们为CUBE4设计了近百个图形和转场效果，并让它们随机组合成上千种不同的显示效果。

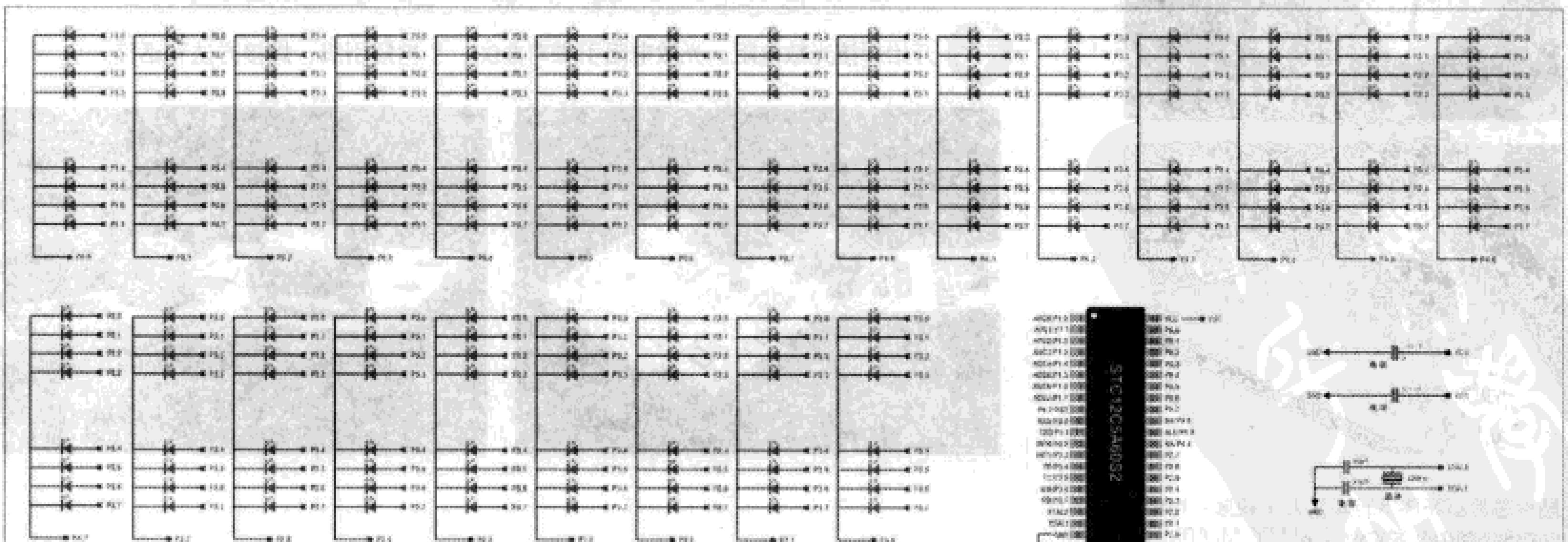
CUBE4的第三大创新是没有用户操作按键，但并不是说它没有模式切换功能。因为CUBE4采用了内置声光感应的自动控制方式。当环境没有声音时，CUBE4会以缓慢的速度显示动画。当环境中有人说话或播放慢节奏的音乐时，CUBE4的动画速度就会加快，使光彩配合着音乐跳动。当环境中有快节奏的音乐时，CUBE4将切换到快闪显示模式，这时动画会由大量随机图形形成，随着快歌的节奏闪烁。当环境无光时，CUBE4则自动进入休眠模式，不会影响睡眠。

制作过程

CUBE4的性能如此强大，制作却并不复杂。我在设计套件的时候都会重点考虑爱好者的制作过程，因为制作过程越复杂，出错率就越高，也越容易失败。我在设计PCB的时候，尽量将焊盘的距离加大，防止焊盘间的短路。也为了让不同水平的爱好者都能制作出标准的支架，我特意设计了一些巧妙的焊接辅助工具。所以大家在制作时大可放心，只需要几个小时就可以完成。其实制作CUBE4的过程也是参与我们开发的过程，因为在制作时你可以体验到我们设计的巧妙和细致。这可以潜移默化地影响你，带你走上精品制作的新观念，不断提升你对电子制作的审美标准。一直以来，国内的电子DIY作品都存在着外形和工艺不讲究的问题，因为爱好者先入为主的理念，使得我们对制作的审美要求一直没有提升。我希望通过精致的作品让大家改变理念，关注制作的美观和品质。这些才是我最想让你体验的CUBE4制作，现在我们开始吧。

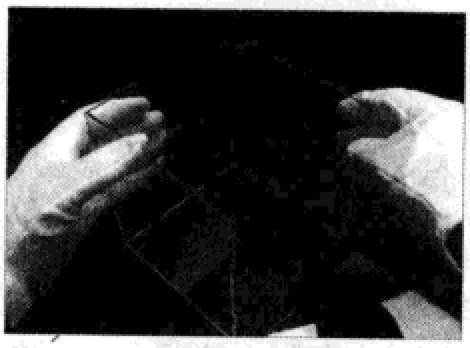
1 所需元器件包括PCB、三色LED灯、电源、USB线、有机玻璃外壳、单片机、晶体振荡器、光敏电阻、话筒、USB接口、三极管、电容、电阻、透明脚垫。CUBE4采用了我擅长的精简设计方案，电路非常简单，只有一些必要的元器件。



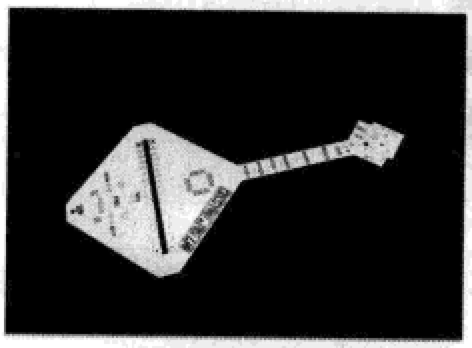


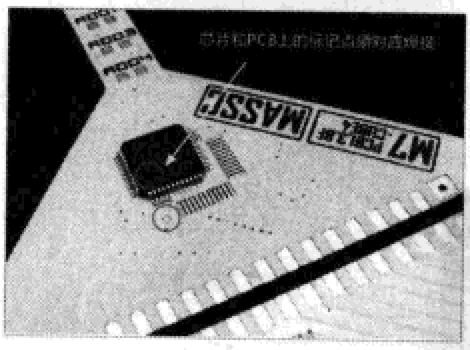
电路原理示意图

2 CUBE4的外壳共有6片卡口拼接式有机玻璃板。每片板的包装纸上都标出“上、下、左、右、前、后”的字样。按标注位置拼接即可，拼接时要戴手套，不然印上指纹可不好擦。只是要注意拼接好后，在“右”和“后”两片板上各有一个缺口，需要让它们接在一起。拼好后要留着“下”板不要拼，一会做好的CUBE4主体要从那里放进去。



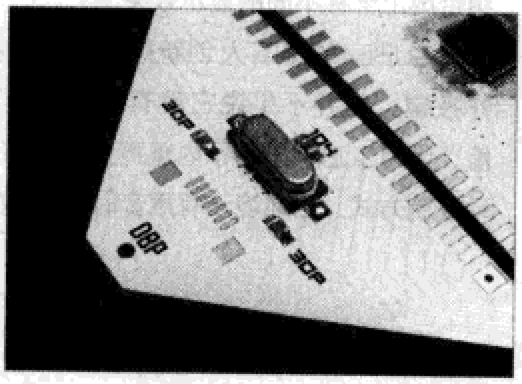
3 好，现在开始焊接单片机，这是整个制作中最难的部分，也最考验制作者的焊接水平和耐心。这个焊接要使用刀形烙铁头的控温焊台。焊接完成后要用放大镜仔细检查是否有虚焊或短路的情况。焊完后会在板上留下助焊膏（松香）的痕迹，没关系，后面我会讲清洗板的方法。

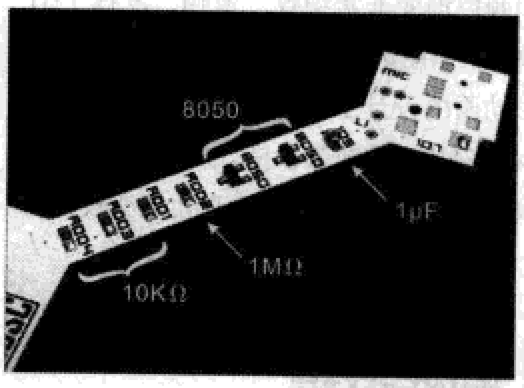




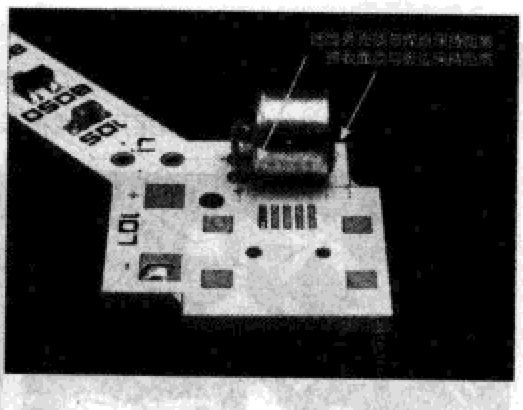
贴片芯片LQFP48的焊接方法视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMTYyMzA0Mzg4.html)

4 下面开始焊接其他的小元器件。将PCB上未焊接元器件焊盘中的一个加锡，这样可以更方便固定和焊接。焊接晶体、电阻、电容和三极管部分，因为元器件较小，一不小心掉到地上可不好找哦。

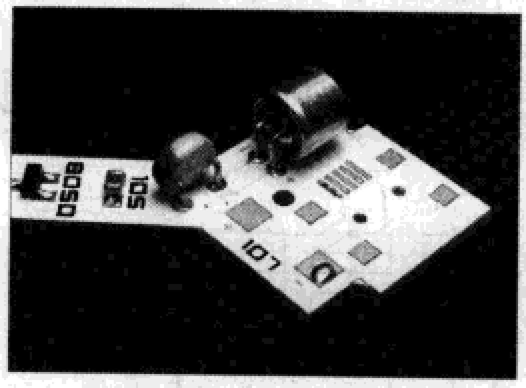


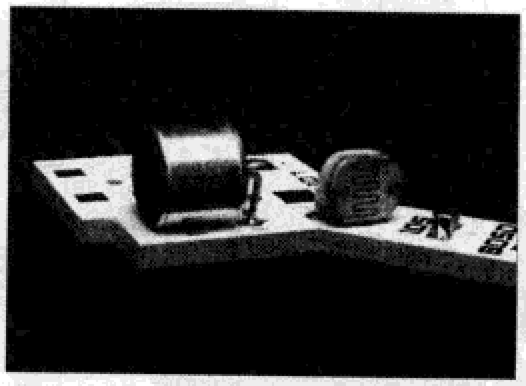


5 开始焊接话筒，先把话筒引脚弯曲90°。注意极性对应关系，话筒上的两个引脚中，其中一个与话筒的金属外壳相连。仔细看可以看出来，如果看不出来可以用万用表测一下。CUBE4上的话筒和光敏电阻都采用了“过孔贴片”的焊接方法，也就是说元器件是直插的，可是我们却不能在背面看到引脚突出来。要想达到这个效果就要将话筒引脚剪短，使焊接后不会在另一面看到引脚。焊锡量不要太多，不然会从背面溢出来。同时还要注意话筒主体的前后距离，太靠后的话容易使引脚和外壳短路，太靠前的话会让话筒贴在外壳上，影响收音。

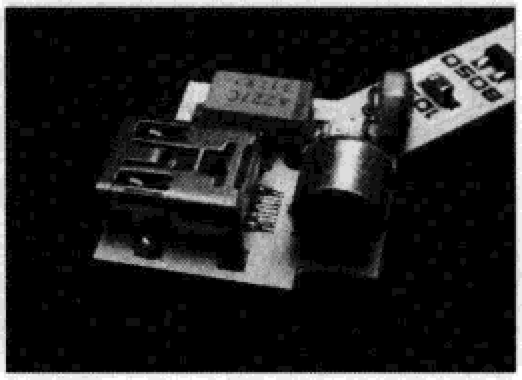


6 开始焊接光敏电阻，光敏电阻引脚弯曲90°，剪短引脚，焊接方法和话筒一样。

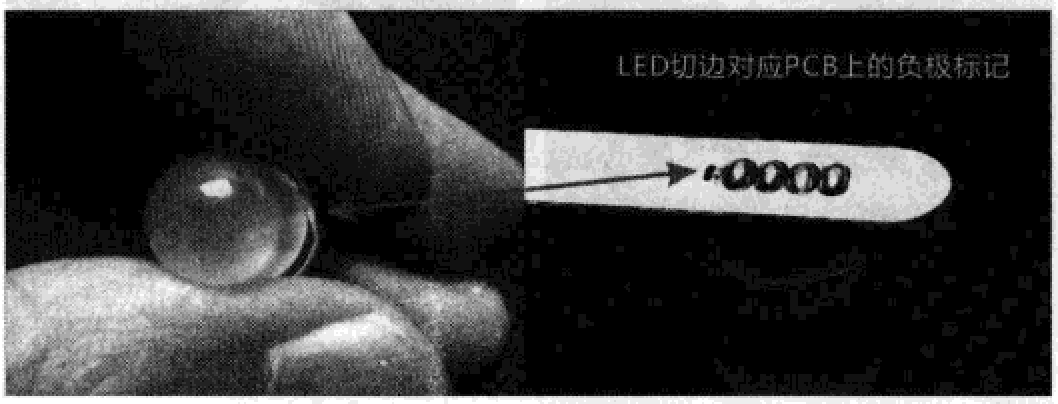




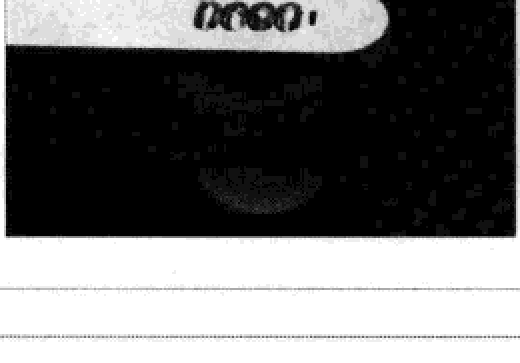
7 开始焊接钽电容，注意电容极性不要焊反，不然可能会出现电容发热、甚至爆炸的情况。焊接miniUSB接口时只焊接引脚两端的1、5脚（5V和地）就行了，因为我们只是用这个USB接口来供电，不涉及数据通信。

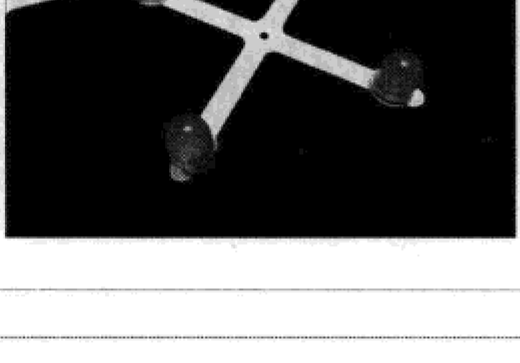


8 下一步是焊接雪花板和LED灯，我们需要把64个LED灯焊接在4片雪花板上，每一个LED灯上有4个引脚，而且引脚的间距很小，一不小心就会短路，所以这个过程中需要百分百的细心。首先把LED灯引脚整理平直，以方便插入PCB中。LED帽边的切口部分为“负极”，对应雪花PCB的负极标记（三基色LED共4个引脚，其中有1个正极和3个负极，我所说的“负极”概念仅为方便说明和记忆的，因为大家对两个引脚的LED灯的极性区分方法还是熟悉的）。

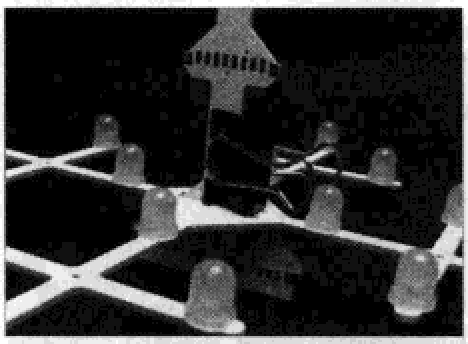


9 把LED从正面插入PCB孔中，用斜口钳剪掉多余引脚，但需要保留0.5~1mm的突出长度，这样做可以兼顾焊点美观和牢固。如果引脚突出太短，LED容易虚焊，过长则引脚间易短路。如法焊接所有LED，并用放大镜检查是否有引脚短路情况。焊接好后，所有LED的高度应保持一致，如有倾斜、外观不佳的就换上新的LED。一定要保证LED外观的高度一致，不然就会破坏“立方”的整齐之美。

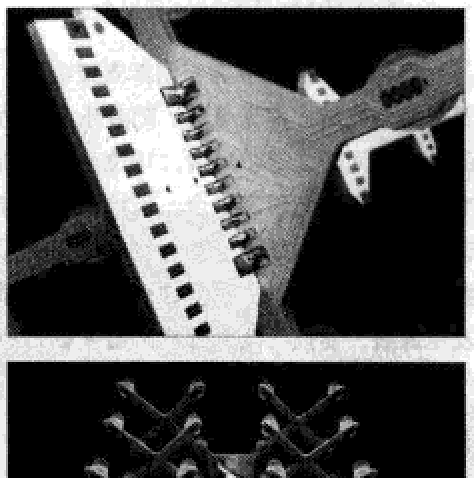




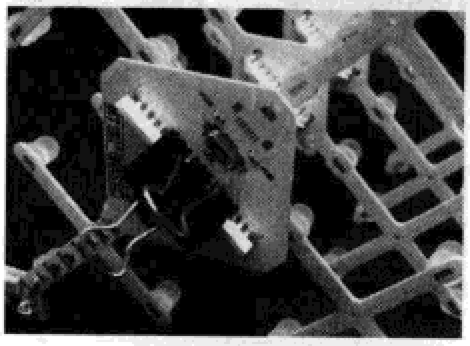
10 如法焊接4片雪花板后，就可以焊接树板了。将一片雪花板套入树板，用中号活页夹按图夹在PCB上。夹子可以让雪花板和树板保持垂直，并起到焊接固定的作用。我在CUBE8光立方的制作中就设计出了LED焊接模板，这一次在CUBE4上再用日常小物件设计出焊接辅助工具。

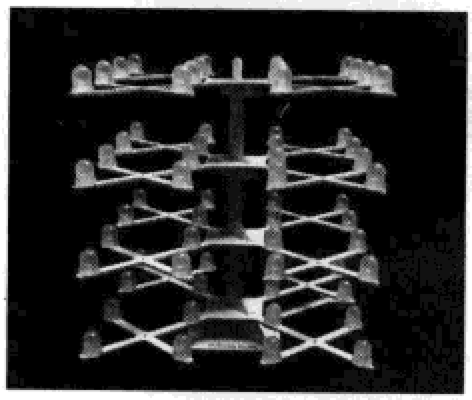


11 雪花板套入树板最下边一组拼合位置，板上黑色箭头需在同一侧，把树板和雪花板的焊盘垂直焊在一起，锡量越多越牢固。逐一套入另3片雪花板，因为4片雪花板是相同的，所以可以任意焊接而不需要区分。焊接每进行一步都要仔细检查雪花板是否与树板垂直，这直接决定着CUBE4完成后的美观程度。必要时可用手轻轻调整，然后从各个角度检查对齐，以达到最佳外观效果。

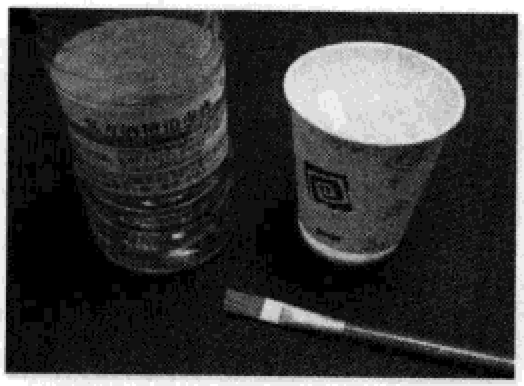


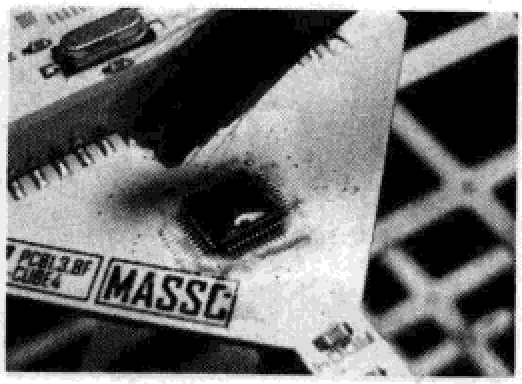
12 开始焊接底面板与树板，同样要将有箭头面放在同一侧，用夹子固定并调整到两片板垂直。底板焊接完成后，所有的焊接任务就结束了。最后把焊接好的CUBE4立起来，检查各板之间是否垂直，LED有没有歪的。如果有不美观的部分马上修正。不论你是自己用还是送人，都应该让外观达到最佳效果，不然你可对不起CUBE4这么精巧的设计哦。



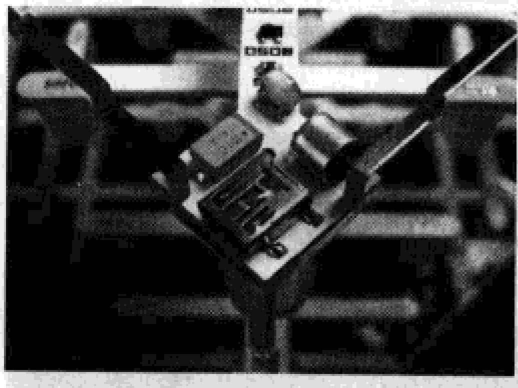


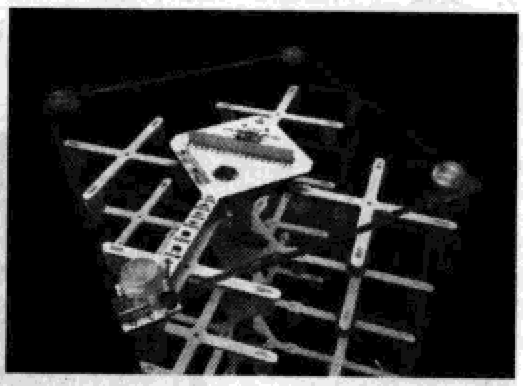
13 使用高浓度的工业或医用酒精擦洗全板，加大量酒精，使松香溶于酒精，轻轻用毛刷擦去松香和杂质。



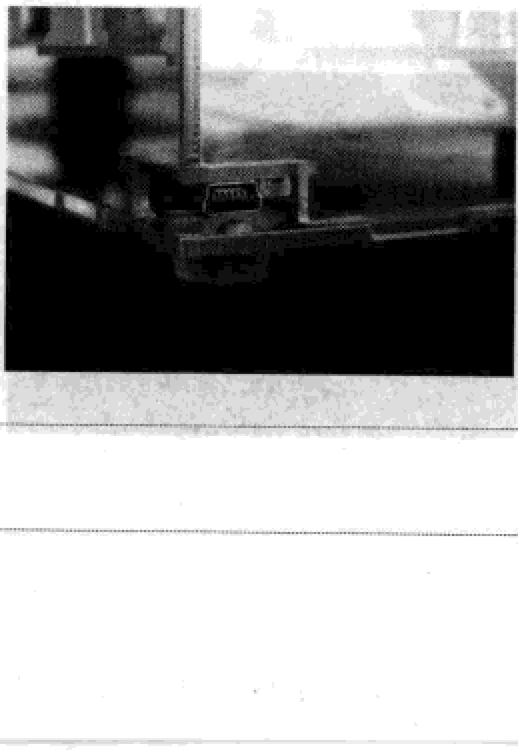


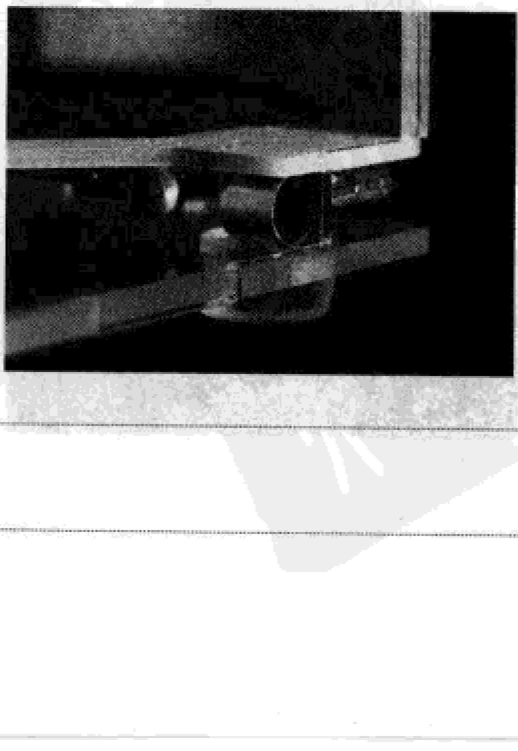
14 将PCB倒装入外壳中，外壳缺口位置对应USB电源接口，外壳缺口尺寸精确地卡在PCB的卡口上，使USB接口牢牢地固定在外壳上，插拔更牢固。盖上“下”玻璃板，最后在“下”玻璃板边角贴上4个脚垫。





15 把CUBE4正立过来，电源线插入USB接口，CUBE4即开始工作。这时你会发现光敏电阻正好隐藏在PCB下面，朝向前方，可以感应环境光线。话筒在侧面缺口处可以采集到环境声音，根据声音的特性切换显示效果。其实CUBE4的焊接并不难，困难的只是它创新的支架结构会让焊惯了平面PCB的爱好者们有些不知所措。其实只要想明白CUBE4的支架原理，并能细致、认真、有耐心地焊接，每一个爱好者都能做出完美的CUBE4成品。





CUBE4套件购买

CUBE4彩色光立方，创新支架结构，灵感源于自然。声光感应，随音乐切换动画效果。六面全透明结构，18位全色彩渐变，千种动画与转场组合。带给您科技与艺术浑然一体的震撼。套件包括制作所需要的PCB及元器件，有机玻璃外壳，电源及电源线。易损元器件都会给出余量，制作本套件需要有一定的焊接能力。

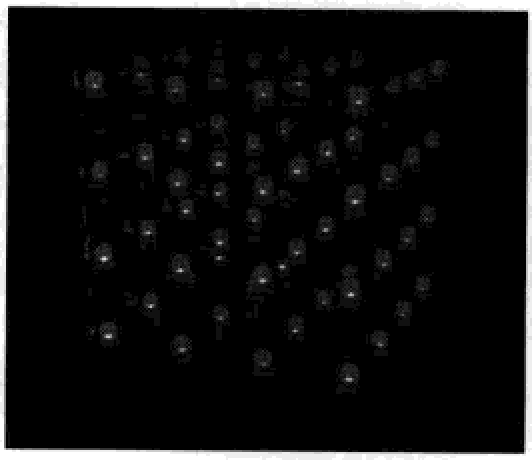
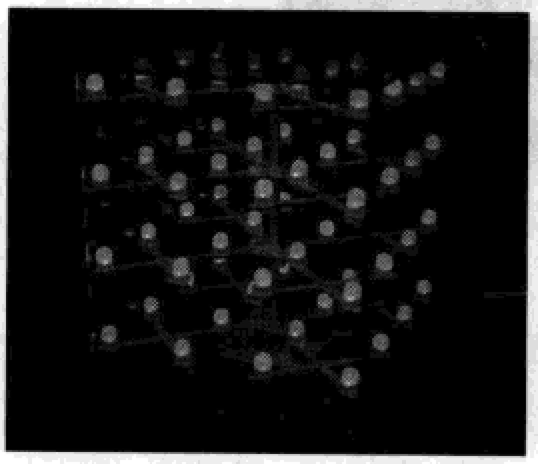
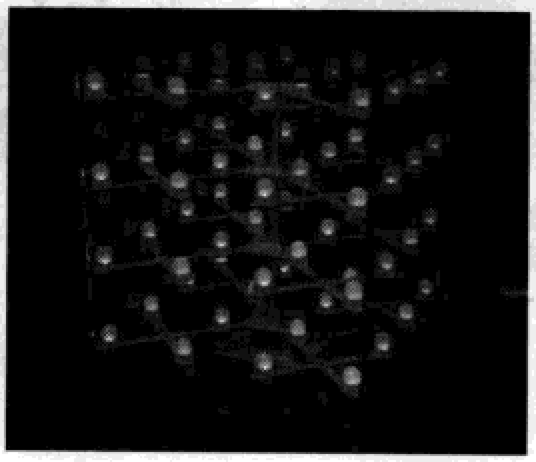
套件价格：429元+15元邮费

购买方式：

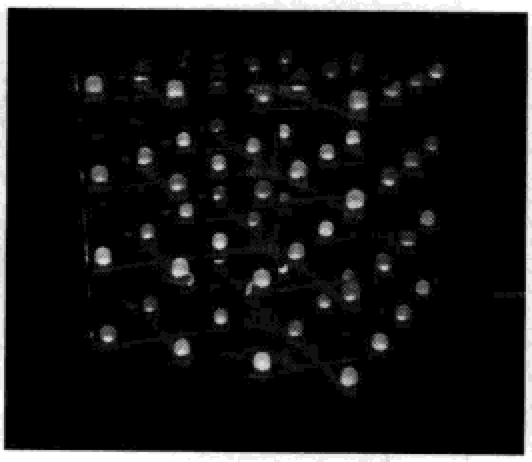
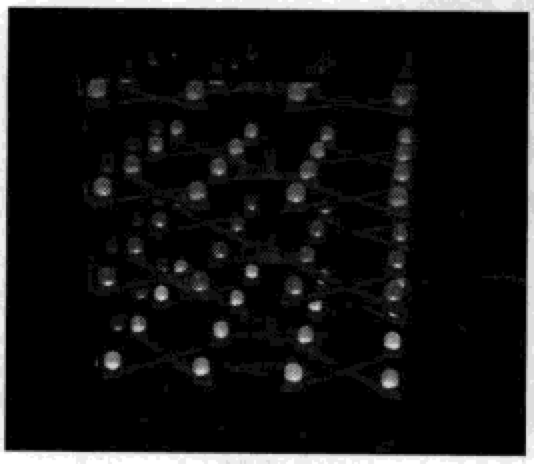
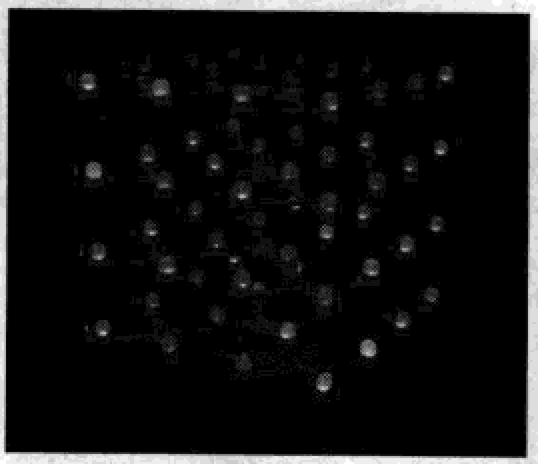
1. 邮局汇款：北京市东城区夕照寺街14号A座《无线电》杂志收，邮编：100061，请在汇款单附言中注明CUBE4套件和汇款人电话。
2. 淘宝店购买：http：//boqu.taobao.com/

上电调试与使用

1 CUBE4采用的是无按键的自动控制，如果焊接没有问题的话，上电就可以正常工作了。我焊过5套CUBE4，现在也不能保证不会有问题，那就更不用说首次焊接的你了。不过不用担心，容易出错的地方只有那么几个，很容易找到。为了更方便大家检查调试，我把开机显示设置为红、绿、蓝3色测试，每种颜色全屏亮2s。你可以判断LED好坏和焊接短路的问题。如果在显示红色时出现了绿色，则说明对应的LED灯中红和绿的引脚短路。同时也要检查LED亮度是否相同，将过暗或过亮的LED换掉。

2 开机检查后，进入渐变动画模式。渐变模式就是一种颜色和亮度有层次渐变的动画效果，如极光一般美妙。我们在大自然的极光中得到灵感，设计了许多动画和转场效果。同时，动画的速度也会随着环境音乐的节奏而变化，例如当环境中出现中慢节奏的音乐时，CUBE4会跟随节奏显示动画，好像色彩在配合着音乐流动一般。当环境没有声音时，CUBE4的动画速度会减慢，好像缓缓在远方跳跃的灯火。

CUBE4是艺术的、科技的，我们用了全部的心力来设计和开发。期间经历了多次修改，动画效果也是在几百种方案中选择最好的。我们投入了很多，换来的结果也是令人满意的。好多第一时间看到CUBE4演示视频的朋友都用“震撼”一词来形容他们的感受。是呀，CUBE4是颠覆性的，它让爱好者们对电子DIY作品有了新的理解。亲身体验CUBE4的制作，你会拥有更多的前卫经验。这些经验可以激发你的创作灵感，迈入更高的设计境界。同时它也是一件独特的宠物，它的纯洁和炫丽能带给人们视觉的欢愉。

现实版铁甲钢拳来了！

威力加强版

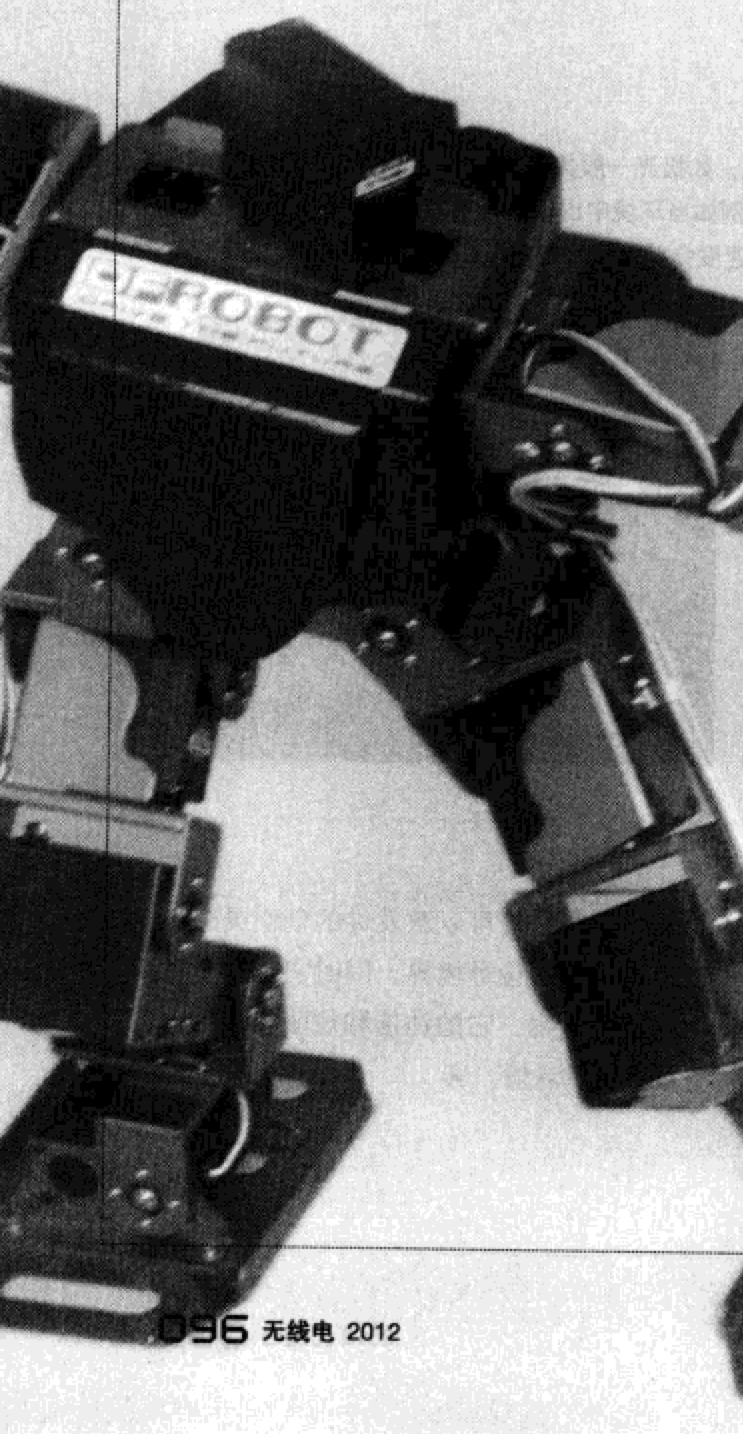
◇程晨

在本刊一篇文章中，我们已经实现了格斗机器人的基本功能，只是它的造型还有点简陋。如果大家留意，会发现本期题图中的机器人比上期多了图1中的几个部分——胸甲、背甲和手。手的小结构件可以替代之前用PVC材料制作的手，胸甲和背甲可以将控制板包裹起来，不但起到保护作用，也让机器人更加好看。

此外，我还想让机器人在做动作的时候发出声音，就像玩《拳皇》或《街霸》游戏一样，这就需要对之前的制作进行一些修改。上一期完成的机器人的结构如图2所示，为了实现上面提到的功能，我们就不能让手柄的控制信号通过无线模块直接发给舵机控制板了，而是需要增加一个模块，在收到手柄的信号之后，可以发送指令给舵机控制板，同时可以实现语音播放。改造后的机器人端连接示意图如图3所示。

因为机器人背甲和胸甲内的空间有限，所以我选用了小巧的Flyduino来作为中间的信号处理板，如图4所示。Flyduino是一款基于Arduino的微型控制器，大小只有40mm×24mm，集成了12个数字口、8个模拟口和1个XBee无线数传接口，可直接连接我们的无线模块。

另外，让机器人发声的语音模块选择的是DFRduino Player V2.0语音播放模块，如图5所示。该模块支持TTL电平串口，只需要将语音文件放置在SD卡中，就可以通过串口发送文件名信息，播放相应的语音文件。同时模块还提供一个播放完毕提示端口，每当播放完一首歌曲，会输出一个高电平。器件选定以后，就可以开始我们的改造工作了。



大家可以在http://v.youku.com/v_show/id_XNDEyNTcxNTc2.html看到一段两个机器人格斗的视频，很有意思哦！

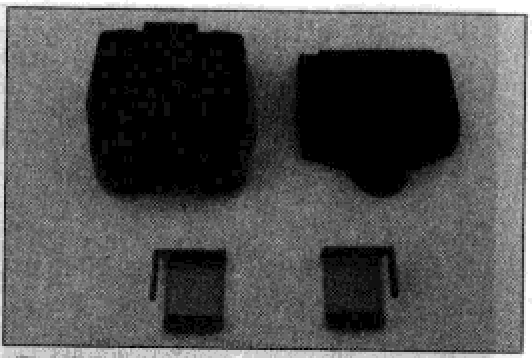


图1 胸甲、背甲和手

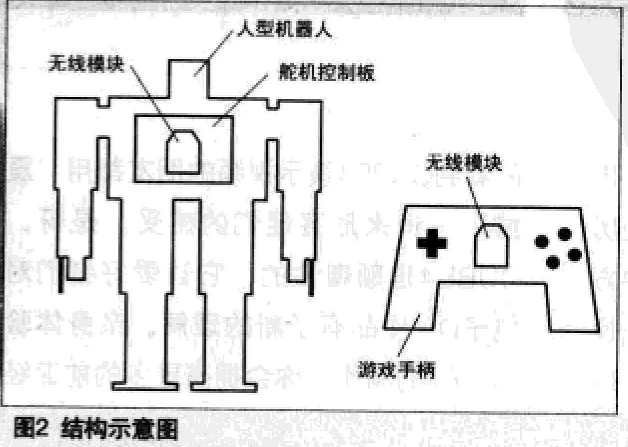


图2 结构示意图

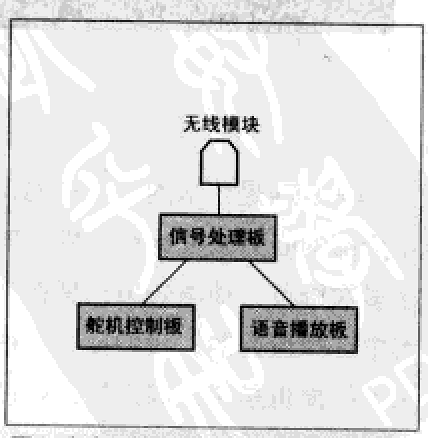


图3 改造后的机器人端连接示意图

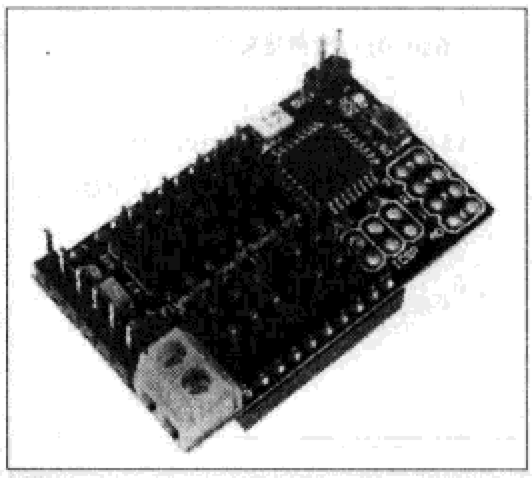


图4 Flyduino

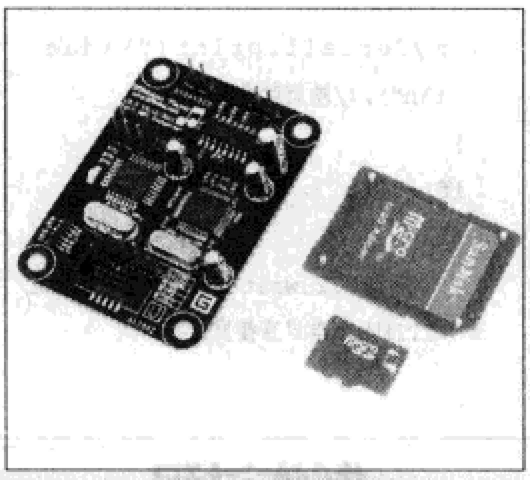


图5 DFRduino Player V2.0语音播放模块

表1　声音、动作对照表

序号	动作说明	触发指令	声音文件
1	机器人前进一步	1	yidong.mp3
2	机器人后退一步	2	yidong.mp3
3	机器人左转	15	yidong.mp3
4	机器人右转	14	yidong.mp3
5	机器人向左滑动一步	8	yidong.mp3
6	机器人向右滑动一步	7	yidong.mp3
7	机器人下蹲	12	yidong.mp3
8	机器人起身	13	yidong.mp3
9	左拳	6	quan.mp3
10	右拳	5	quan.mp3
11	左臂摆动	4	bai.mp3
12	右臂摆动	3	bai.mp3
13	向前倒下后起身	9	dao.mp3
14	向后倒下后起身	16	dao.mp3

程序设计

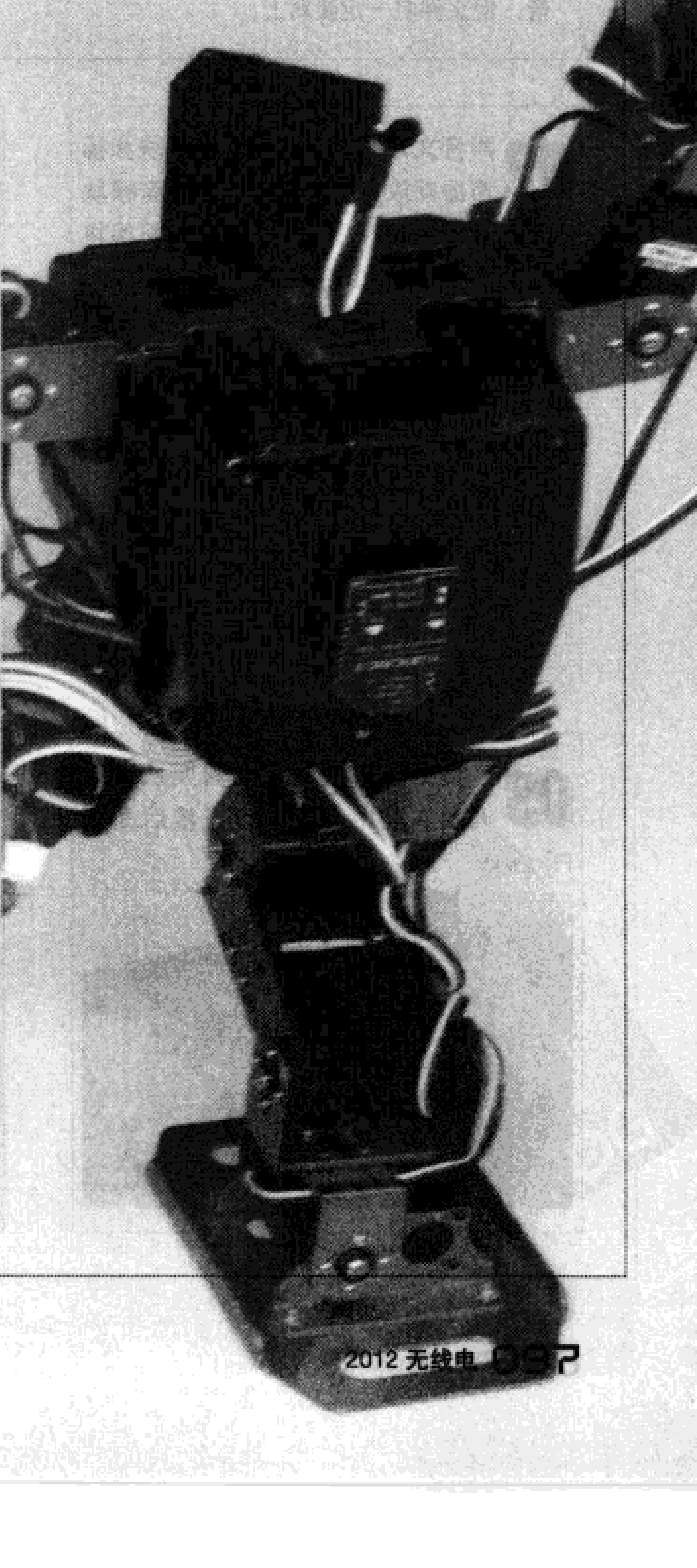
由于模块之间都是通过TTL串口通信，而Flyduino只有一个硬件的TTL串口，且用在了与无线模块的通信上，所以需要用软件在Flyduino端模拟两个串口。在Arduino的库中有一个SoftwareSerial库，定义了一个SoftwareSerial的类，可以实现模拟串口，我们在代码中定义两个SoftwareSerial的对象mySerial1和mySerial2，mySerial1占用引脚2和3，用来给语音播放模块发送指令，mySerial2占用引脚4和5，用来给舵机控制板发送指令。定义对象的代码如下：

```
SoftwareSerial mySerial1(2,3);//模拟串口1，用来发送音频指令
SoftwareSerial mySerial2(4, 5);//模拟串口2，用来发送动作指令
```

对照上一篇文章中的动作表以及这次的声音表，我们能够得到一张声音、动作对照表，如表1所示。

根据表1，能够很方便地完成Flyduino中的程序，源代码如下：

```
#define MusicEnd 6//用引脚6来检测声音文件是否播放完毕
SoftwareSerial mySerial1(2, 3);//模拟串口1，用来发送音频指令
SoftwareSerial mySerial2(4, 5);//模拟串口2，用来发送动作指令
char w;//接收字符
int flag=1;//音频结束标志，初始为1
void setup()
{
 Serial.begin(57600);//串口波特率57600
 mySerial1.begin(19200);//模拟串口1波特率19200
 mySerial2.begin(9600);//模拟串口2波特率9600
 pinMode(MusicEnd, INPUT);/第6脚接收音频结束标志
}
void loop()
 {
 if(Serial.available()>0)//判断串口是否收到数据
 {
  w = Serial.read();//读取串口数据
  if(flag==1)//当音频结束标志位为1的时候，播放音频
  {
   if(w==1||w==2||w==7||w==8||w==12||w==13||w==14||w==15)
   {
    //播放"yidong"这个音频文件，\r\n表示换行回车
    mySerial1.print("\\yidong\r\n");
   }
```



```
else if(w==3||w==4)
mySerial1.print("\\bai\
r\n");//摆臂
else if(w==5||w==6)
mySerial1.print("\\quan\
r\n");//出拳
else if(w==9||w==16)
mySerial1.print("\\dao\
r\n");//跌倒起身
}
if(w!=0)
{
mySerial2.write(w);/动作指令通
过TTL电平串口直接发给机器人
flag=0;//音频结束标志置0
}
if(digitalRead(MusicEnd)==LOW)
flag=1;//检测到语音播放完毕后将标
志位设置为1
}
```

制作过程

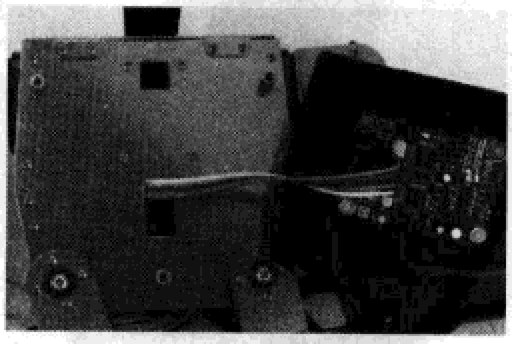
01 安装模块之前，我们首先要将声音文件保存在存储卡中，根据机器人的动作，我找了以下几种动作的声音，并按照表2给各个文件命名。大家也可以根据自己的喜好选择《拳皇》、《街霸》之类游戏里的声音，但文件名一定要对上。

表2　声音文件的命名与用途

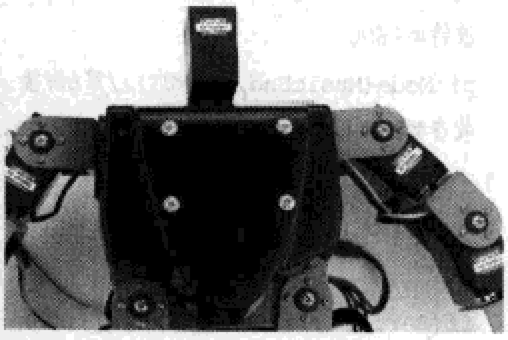
序号	动作说明	声音文件名	备注
1	机器人移动	yidong.mp3	包括前进、后退、左转、右转、滑步、蹲下起身
2	出拳	quan.mp3	包括左、右手
3	摆臂	bai.mp3	包括左、右手
4	跌倒后起身	dao.mp3	包括向前和向后

02 声音文件拷贝完成后，将模块和扬声器都放在胸甲内，固定语音模块的螺丝刚好将扬声器卡住，然后用排线将模块的控制引脚和电源引出。这里要说明一点，本身套件中的胸甲是没有发声孔和模块安装孔的，需要用电钻自己钻。

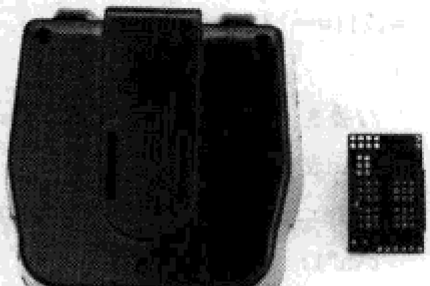
03 连接语音模块的线缆需要从机器人的胸腔中穿过，以连接后面的Flyduino。



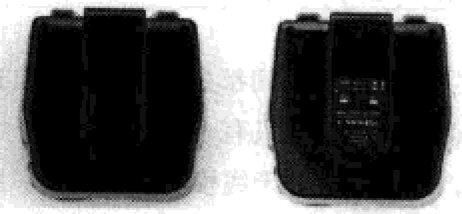
04 最后将胸甲固定在机器人身上。



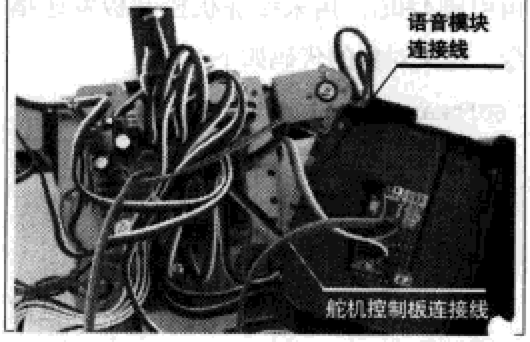
05 接下来安装Flyduino。由于Flyduino没有安装孔，所以我们利用它背面的XBee无线数传接口将其固定在背甲上。我们先在背甲上开两个槽，大小与无线数传接口一致。



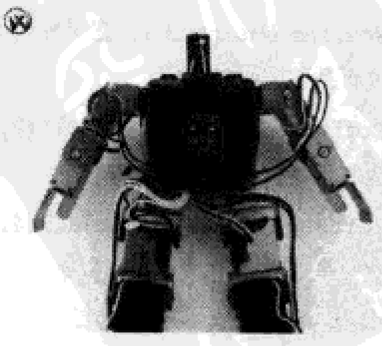
06 将Flyduino固定在背甲上，最后插上之前用到的无线模块。



07 将代码下载到Flyduino中后，按照下图完成这几部分的连接。Flyduino和语音播放模块的电源均取自舵机控制板，语音播放模块的排线连接到Flyduino的引脚2、3、6，舵机控制板的TTL串口连接到Flyduino的引脚4和5。



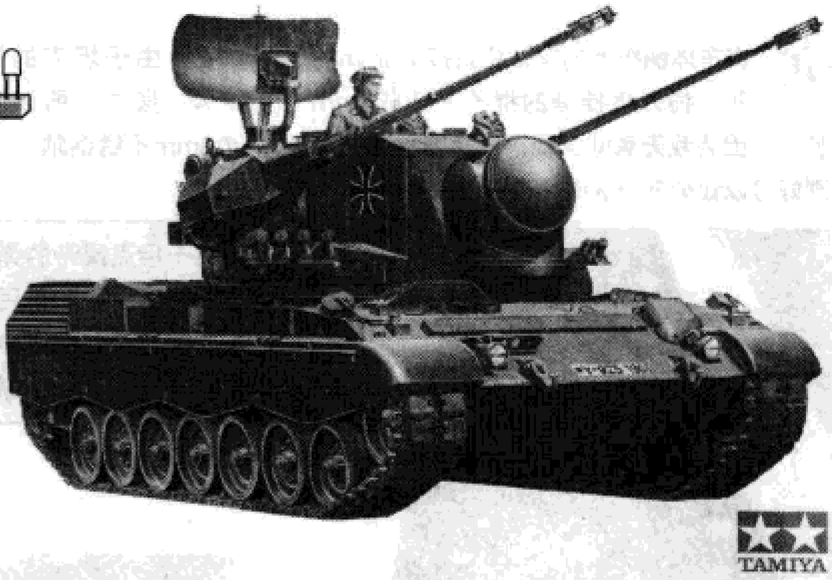
08 最后一步，将背甲安装在机器人身上，换上套件中手的小结构件。至此，我们的格斗机器人就算完成了，开始战斗吧！



◇方震宇

田宫1：35 Gepard自行防空炮

静态军用车辆模型遥控化改造详解



我接触静态模型制作已经4年了，坦克模型逼真的外观与细节，不禁令人联想起它的真身征战沙场的飒爽英姿。去年，我在网络上搜索有关坦克模型的制作贴，无意间发现了一个静态坦克模型遥控化改造的教学帖子，从此一发不可收拾。接下来，分享一下我对田宫1：35德国猎豹（Gepard）35mm自行防空炮进行遥控化改造的过程和经验。

所需要的材料：

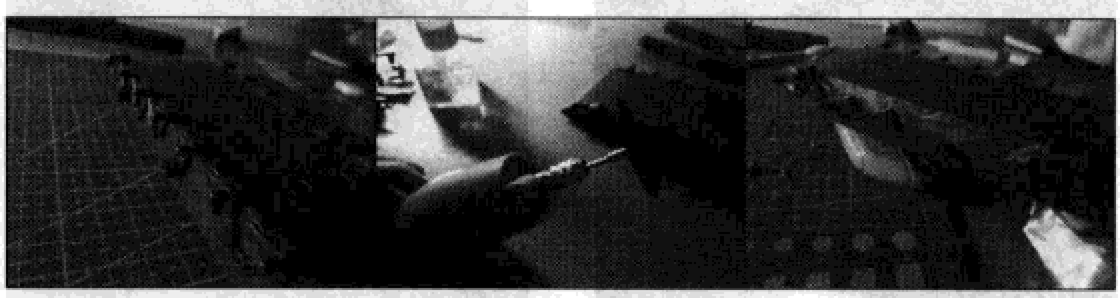
》N20金属减速电机2个、Φ0.5mm牙科正畸用弹性钢丝、Φ2mm黄铜棒、Φ3mm不锈钢棒、Φ3mm孔尼龙轴套、Φ2mm孔尼龙轴套、Φ2mm孔10齿+30齿双层尼龙齿轮、Φ2mm孔28齿尼龙齿轮、Φ2mm孔16齿尼龙齿轮、Φ2mm孔尼龙蜗杆、Φ3mm孔18齿尼龙齿轮、Φ3mm金属带螺丝锁轴管、棒棒糖棍、ABS改造用胶板（0.5mm厚、1mm厚）、AB胶水、AB补土、普通模型胶水、模型流缝胶水、502胶水、焊锡、Φ3mm LED（白光3个、黄光4个）、导线若干、9g舵机4个、3.7g舵机2个、闪光电路板1个、7.4V航模锂电池1块、伟恒2路坦克用双路混控模型电调1个、wfly天地飞07遥控器及接收机（注：更推荐使用wfly08遥控器，可独立控制前后雷达）。

所需要的工具：

》斜口钳、砂纸、老虎钳、什锦锉、剥线钳、电烙铁、螺丝刀、电磨机套装、勾刀、笔刀、喷笔、气泵。

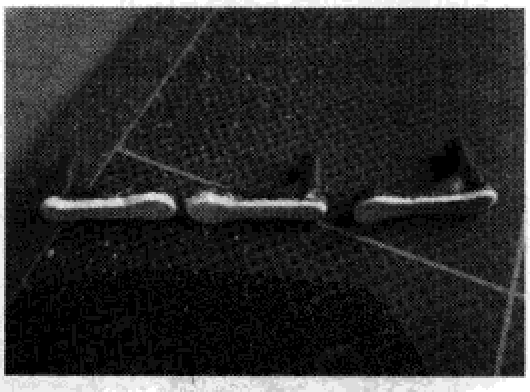
悬挂系统的改造

01 由于这是田宫早期的产品，设计比较落后，底盘上的摇臂是和车体一体的，所以得用电磨（安装砂轮片）对摇臂进行切割。



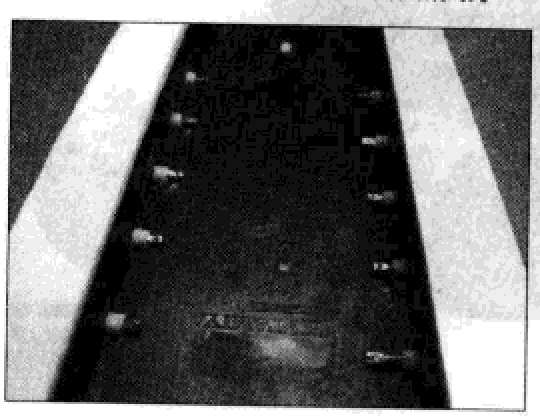
02 切割完成之后，需对切割断面进行打磨，并用AB补土对切割面的坑洼不平处进行修补。

03 切割下来的摇臂因为受到砂轮的磨损，已经厚薄不一了，得用锉刀磨平切割面，然后用ABS胶板进行增厚处理。



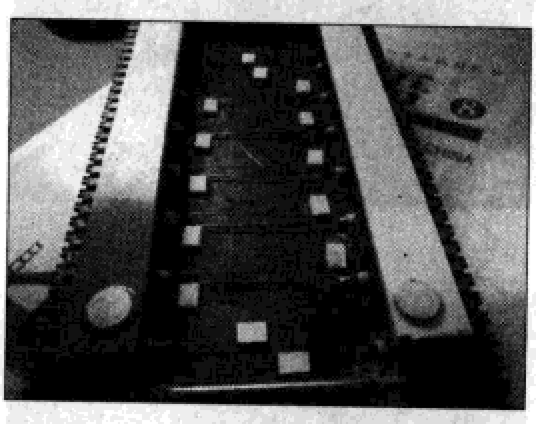
04 接下来制作摇臂和车体连接活动的部分。首先将Φ2mm黄铜棒切割成14段1.5cm长的短轴，将轴的一端侧面打磨出长0.6mm的平面，并钻Φ0.5mm的孔。在摇臂安装位置钻Φ2mm的孔，安装加工好的黄铜轴。推荐用电钻打孔，省时省力，不过用电钻的时候要用水降温。

05 在车体侧板上的车轴位置打Φ3mm的孔，插入棒棒糖的棍子（切成5mm长），因为我无意间发现，棒棒糖棍中的孔刚好可以让Φ2mm的轴在里面自由滑动。



06 由于坦克摇臂安装后会挡住车体侧面的一部分外壳，为了美观，先对车体和摇臂进行喷漆上色（油漆使用的是郡士硝基漆C303）。

07 安装弹性钢丝。截取差不多5cm长的钢丝，拉直后的钢丝两端弯折90°（弯折的方向根据钢丝的固定方法而异），一端插入事先打好孔的摇臂黄铜轴，另一端用ABS胶板制作成固定夹板夹住，粘在车体上。



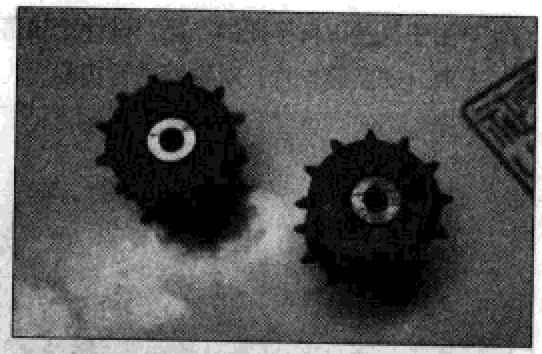
08 由于坦克的诱导轮要承受很大的履带张力，所以我将诱导轮的轴替换成了Φ3mm不锈钢轴。

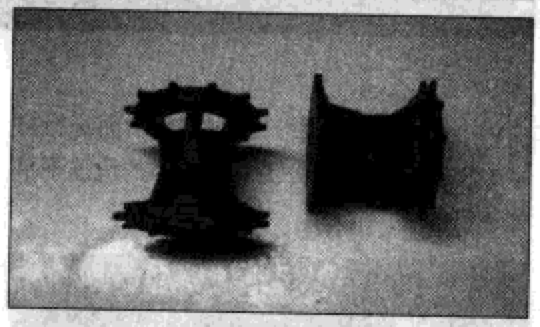
Tips

由于坦克履带的弹性张力会把负重轮系统的第一组和最后一组向内收，因此这两组的弹力得比中间几组大，最方便的做法就是缩短弹性钢丝的长度

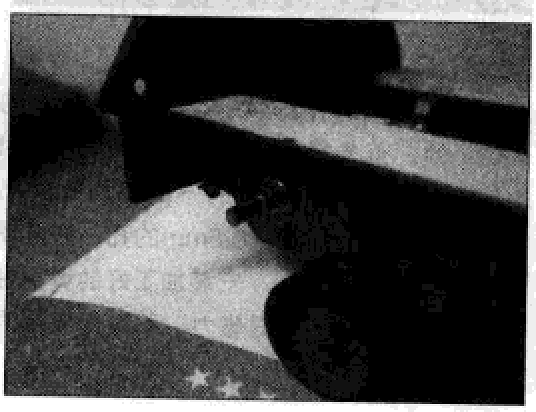
履带动力系统的改造

01 为了方便拆卸，我在主动轮上安装了金属螺丝锁管，并在主动轮侧面打孔旋入螺丝。

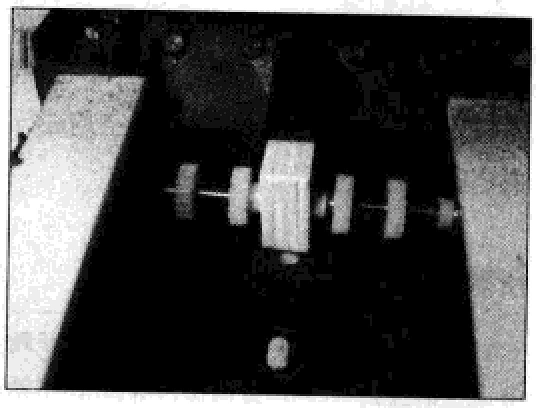




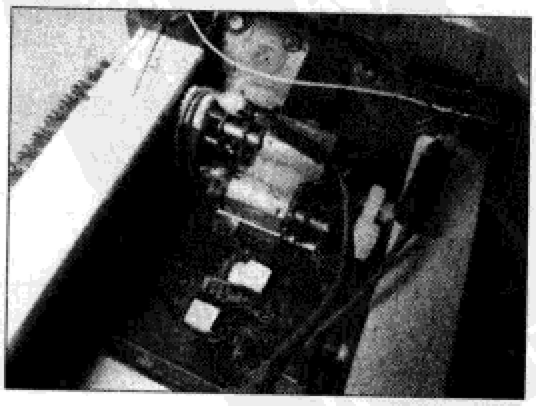
02 动力轴为Φ3mm不锈钢轴，安装主动轮的那端用砂轮打磨出一个平面，这样可以使主动轮上的螺丝更好地固定在轴上。车体上安装微型滚珠轴承，减小阻力，让轴更好的活动。



03 由于左右履带是独立活动的，所以左右动力轴是断开、独立的，中间用ABS胶板搭成一个固定座，让轴自由转动。轴上安装Φ3mm孔径18齿尼龙齿轮（如果担心塑料齿轮不耐磨，可以更换成更好的金属齿轮）和Φ3mm孔径限位环。



04 接下来安装动力电机——两个N20金属减速电机（300r/min，DC 6V），转轴上安装Φ2mm孔径16齿尼龙齿轮（我的电机之前在制作另一辆坦克时将轴磨成了Φ2mm的，其实买回来时是Φ3mm的，完全没必要打磨，可直接安装Φ3mm孔径的齿轮）。电机上焊接电线和插针，然后用AB胶水固定在安装位置。



炮塔系统的改造

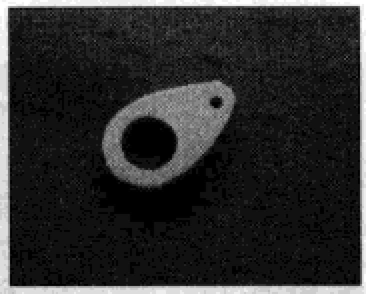
01 首先进行后雷达的制作。后雷达座原本是活动的，安装一个16齿尼龙齿轮，用Φ2mm不锈钢轴连接后雷达。

02 然后将原本用来手动活动的轴切除，并钻Φ3mm的孔，装入棒棒糖棍作为滑套，与雷达旋转齿轮接触的地方用带有Φ2mm孔的尼龙蜗杆制作传动机构，两侧卡上Φ2mm的限位环。

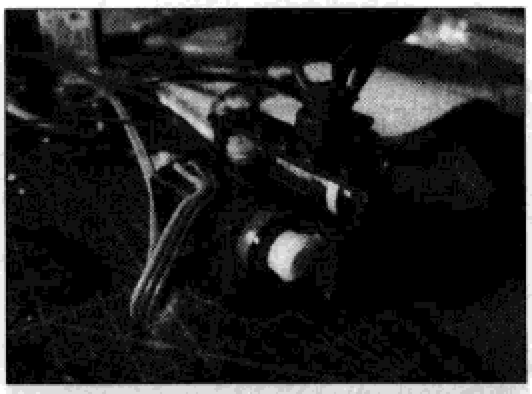
03 一侧的不锈钢轴安装11齿尼龙齿轮，另一侧的棒棒糖棍得留长些，制作后雷达收放机构时用得上。（注：两侧金属轴都得多出4mm，用于固定在外壳上，一侧用小电机做动力驱动雷达旋转。）

04 雷达旋转机构的电源控制部分是用舵机里拆出的电路板制成，由于雷达是顺时针旋转，因此先得测出使雷达正确旋转时的电流方向，并在线路上串联整流二极管，使雷达只能单方向旋转。（注：舵机电路板所接的电位器不可拆除，否则电路无法工作。）

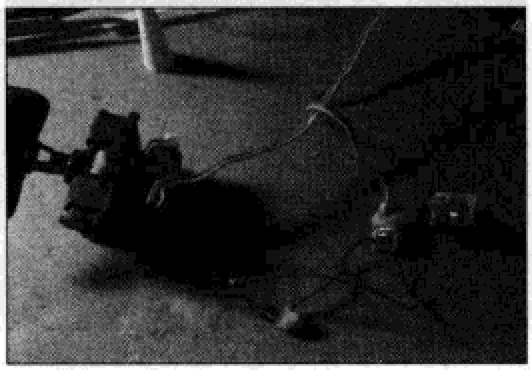
05 在电机所对的另一侧的长棒棒糖棍上安装一个用ABS胶板自制的拉环，用于控制雷达收放动作。



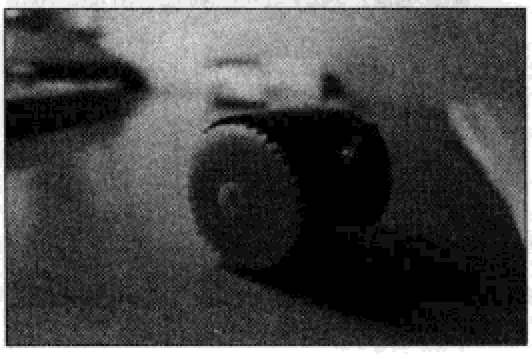
06 在整个系统的外侧安装一个9g舵机，用钢丝牵拉拉环，来控制雷达收放。



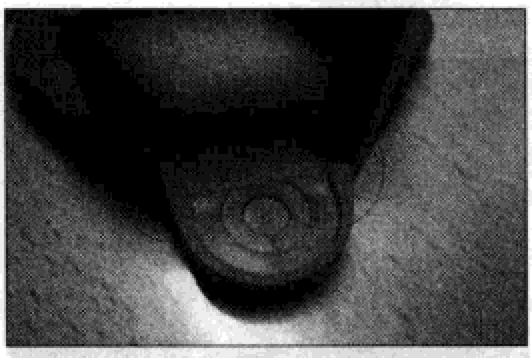
07 接下来制作炮管俯仰机构和前雷达的联动机构。在前雷达的后座上埋设2片强磁铁，用AB胶水固定，用于与炮管联动的控制。



08 组装前雷达系统，注意前雷达的转轴部分要锉得细一些，好让前雷达自由转动。然后在雷达底部安装一个Φ2mm孔径16齿尼龙齿轮，作为旋转传动部分。



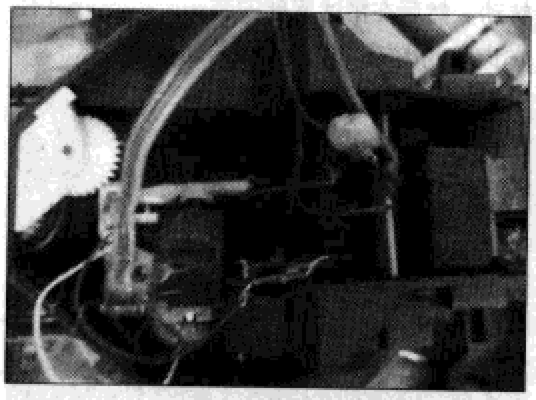
09 雷达座上图中所圈的位置得用锉刀锉去，以防止齿轮旋转时卡住。



10 安装微型滚珠轴承。

11 安装后的效果如下。

12 先将炮管系统组装好，然后在中间连轴部分钻Φ2mm的孔，安装动力拉杆。动力拉杆用钢丝连接1个9g舵机，舵机摇臂的另一头固定两片磁铁，控制前雷达和炮管联动。



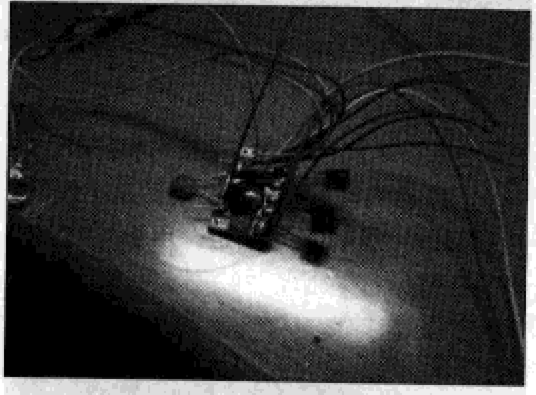
13 旋转前雷达用的齿轮，再连接一个双层齿轮（10齿+28齿）。28齿那层啮合在前雷达齿轮上，10齿那层啮合在3.7g舵机的30齿尼龙齿轮上。

14 炮塔旋转机构是用万花尺上的一个大齿盘做的，用螺栓固定在炮塔底座上，旁边安装一个Φ3mm孔径18齿尼龙齿轮作为动力。由于舵机买回来时都是以固定角度转动的，炮塔转动需要360°旋转的舵机，因此要对舵机进行改造。由于舵机内部结构不同，只解释最关键的部分：首先拆开舵机，取出里面的电位器，舵机是靠检测电位器所在点位的电阻值来控制角度的，把舵机的电位器归到中位，用胶水粘死，然后断开电位器杆与输出轴的连接，切除舵机里齿轮上的限位器，最后重新组装舵机即可。

灯光系统的制作

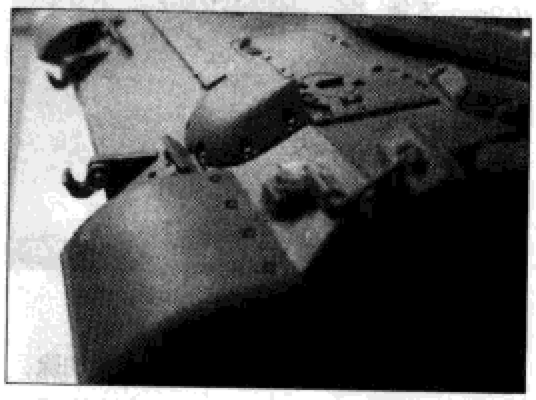
01 车顶警示灯是用Φ3mm白光LED配合闪光电路板制成的，Φ3mmLED可用郡士的透明橙色油漆涂一下，更具有真实感。

02 闪光电路板是从玩具车上拆下来的，其实就是MIC集成电路、PNP型三极管组成的电路。将闪光电路板连接在舵机的电源线上，就可以发光闪烁。市面上也有可以自行闪烁的LED，用那种LED可以省略闪光电路板，给车体腾出空间。



03 车前灯用Φ3mm白光LED制成，先用锉刀将LED的灯头打磨成平的，在前大灯原有塑料零件上钻Φ3mm的孔，安装LED。由于LED通体透明，点亮后，尾部也有光线，因此，在安装LED后，要用油漆把尾部暴露部分刷上颜色。

04 雾灯用Φ3mm黄光LED制成，涂上郡士透明橙色油漆，做出真实灯的颜色。

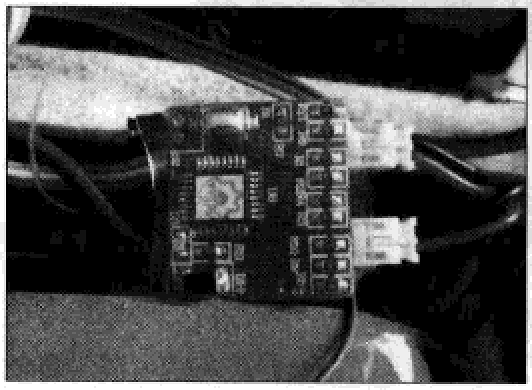


05 尾灯根据实车资料制作，红灯不发光，黄灯为雾灯。将尾部雾灯与前部雾灯并联，并分别串联1个可调电阻限流（还可以调整灯光亮度）。

06 由于通道数有限，车灯全部由1个通道控制。因为前大灯亮度和前、后雾灯的亮度不同，所用的电阻阻值也不同。

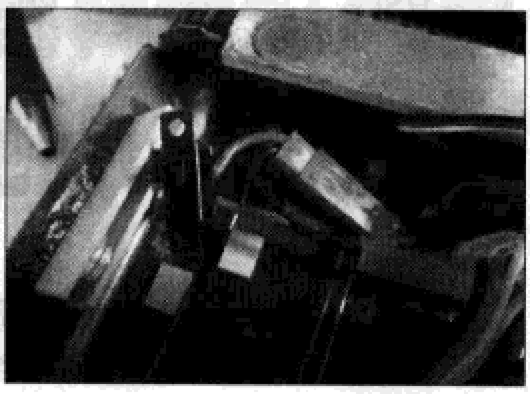
控制系统的制作

01 电调用的是伟恒工作室的双路坦克用混控电调。此电调供电电压需6~9V，由1A的接收机电源输出，用来控制2路履带的驱动电机转速。图中绿色部分是7.4V/900mAh航模锂电池。



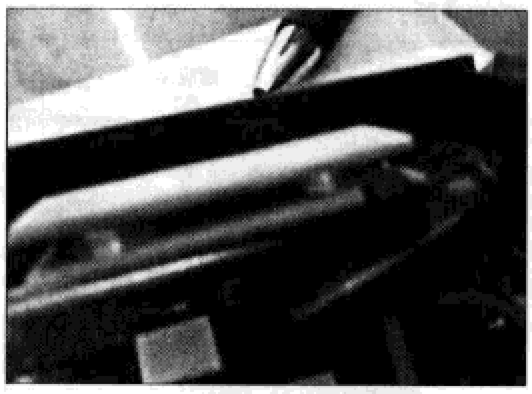
02 接收机用的是wfly7通道接收机，由于接收机接口朝上，舵机的接头插上后高度过高，会将车体上盖顶开，因此自制了插口，用软导线连接。为了防止接头接触导致短路，我将暴露的部分用胶带裹上。

03 为了安全，我在电池和电调间设置了开关，这样可以及时切断电源，保护设备不受损坏。

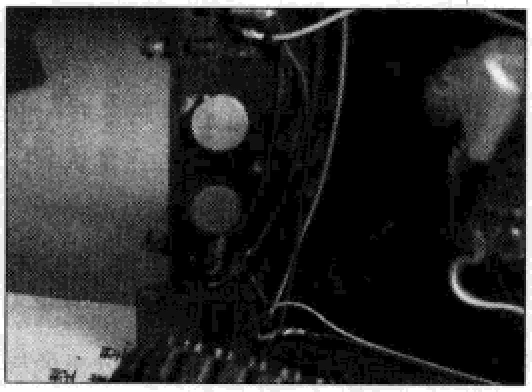


固定系统的制作

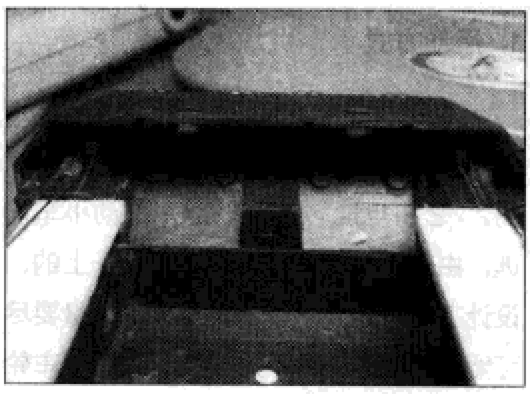
01 将4片强磁铁分为两组，用ABS胶板固定在车前底盘上。



02 将两片强磁铁用胶水固定在车体上盖前端部分。

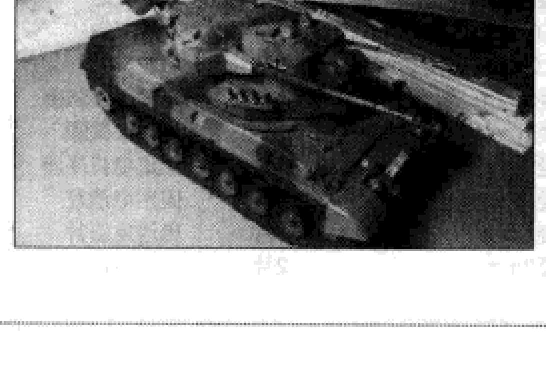


03 车体上盖后部有两个固定榫，因此不需要另作处理。

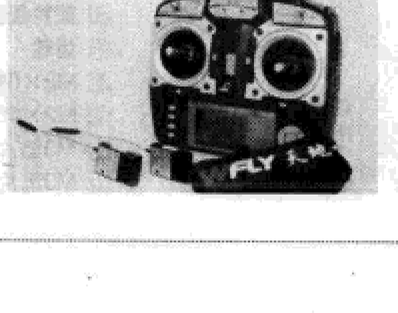


涂装

01 根据实车图片，对车体进行喷漆，用到的油漆有郡士C1（光泽白）、C3（光泽红）、C28（金属光泽黑铁色）、C33（消光黑）、C43（亚光木棕）、C47（透明红）、C303（亚光绿）等，最后贴上水贴。



02 到这里，1：35 Gepard防空炮的遥控化改造全部完成，使用wfly07遥控器进行控制。



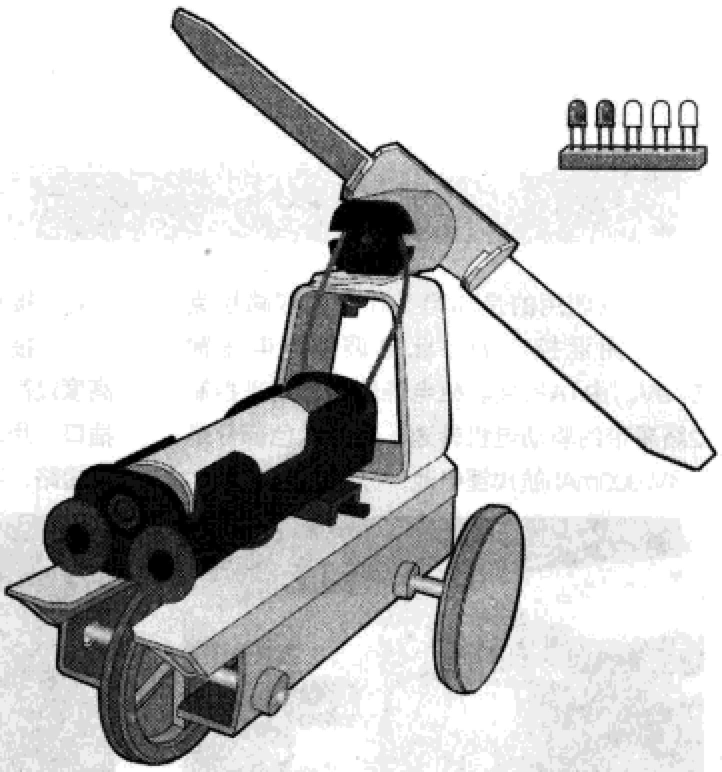
后记

静态模型的遥控化改造是个循序渐进的过程，一开始得先对模型的结构进行全面了解，制定出适合所要改造的模型的最优设计方案。其次，在改造过程中，可能会发现现行方案跟原先设想的有所出入，在动手之前一定要深思熟虑，再下手。改造模型是个十分浩大的工程，制作者得有完善的设备、足够的耐心，并且得对电路、机械有所了解，这样才能保证制作时少失误或者不失误。说了这么多，您是否也想改造一个自己心仪的模型呢？祝您成功哦！

◇pvcbot ◇插画：刘少冉

PVCBOT 28号·风行者

用PVC材料自制经典的螺旋桨小车



PVCBOT不仅限于仿生机器人，也可以做出最常见的轮式小车。这里首先介绍一款被称为“风行者”的螺旋桨小车，这是一个比较常见的科技类小制作项目，之所以将其引入PVCBOT，一方面是希望展现出不一样的制作风格，另一方面也是为PVCBOT整个体系做出补充。

基本原理

1. 运动方式

本项目是一个典型的三轮小车，3个轮子呈品字形布局，默认是直线行驶的。它将电能转换为风能，推动小车前进，由于风力不是直接作用在轮子上的，设计上有一定要求：小车整体的重量要尽可能轻一些，去掉不必要的负载，小车轮子的轴承要求尽可能的润滑，使轮子能够灵活顺畅地转动，减少额外的阻力。总的来说，就是要让小车“轻装上阵”，让风能够吹得动。

2. 驱动原理

传统的三轮车，一般是两个后轮获得动力转动起来，直接驱动车子前进的，不过当前的螺旋桨三轮小车却是不同的，小车底盘仅是一个无动力的载体，3个车轮只是起到平衡和支撑的作用，小车的动力来自车身上安装的螺旋桨向后吹出的气流（风力）所产生的反作用力，如图1所示。

本项目的电路原理比较简单，电池直接连接电机，中间通过拨动开关来控制电路的通断。

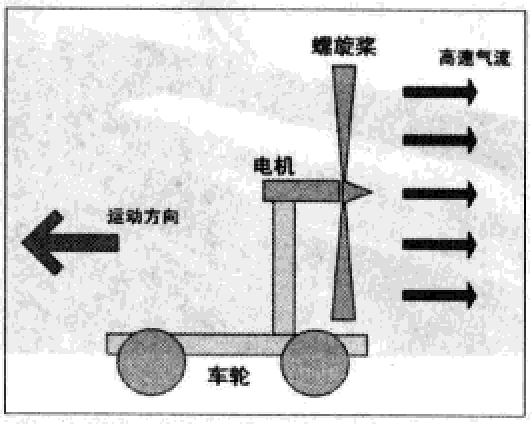
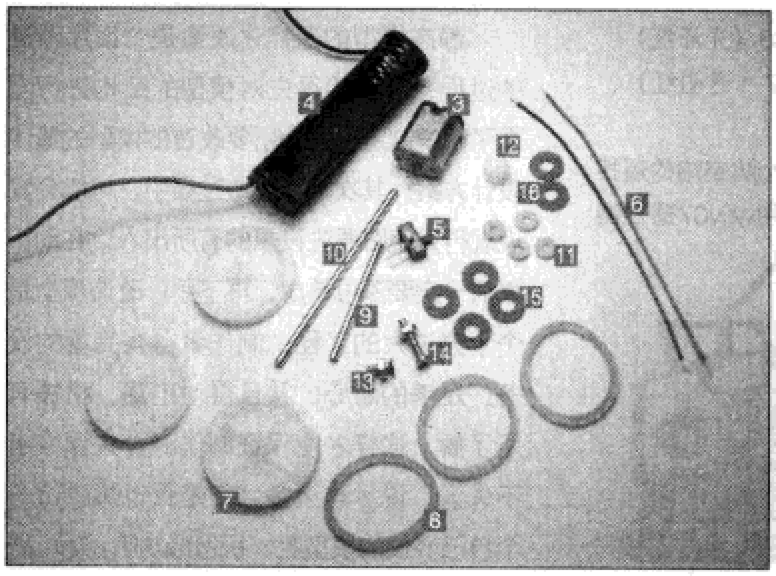


图1 螺旋桨三轮小车的驱动原理



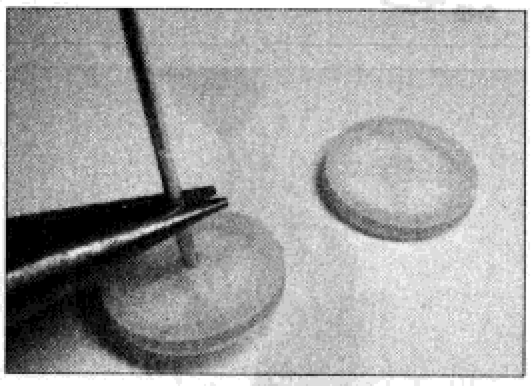
制作所需的材料

名称	规格	数量	用途
1 PVC线槽	宽2.5cm，长15cm	1个单位	主体材料
2 干电池/充电电池	7号（AAA）	1节	电源
3 小电机	微型1.5V电机，轴径1mm	1个	动力
4 电池盒	单节7号电池盒	1个	电源
5 拨动开关		1个	电源开关
6 导线	长10cm（红、黑）	2根	电路连接
7 皮带滑轮	直径24mm	3个	车轮
8 橡皮圈	直径15mm	3条	车轮轮胎
9 短轴	长3.0cm，直径2mm	1个	前轮车轴
10 长轴	长5.0cm，直径2mm	1个	后轮车轴
11 塑料垫圈	直径2mm	4个	车轴固定垫圈
12 齿轮	孔径1mm	1个	螺旋桨桨毂
13 M2×6螺丝/螺母	直径2mm，长6mm	1对	固定电机底座
14 M2×10螺丝/螺母	直径2mm，长10mm	1对	固定电池盒
15 M3垫片	直径3mm	4片	电池盒垫片
16 M3垫片	直径3mm	2片	眼睛装饰

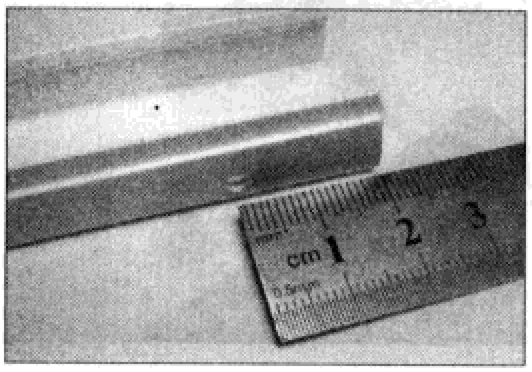
制作过程

1 首先制作后轮。把两个橡皮圈分别套到两个滑轮的轨道上，做成车轮。由于橡皮圈的截面其实是多个平面的，为了让作为轮胎的橡皮圈着地平面平整一些，可以将镊子插到橡皮圈下，然后转动轮子，同时压平橡皮圈，使它对外都是处于同一平面。

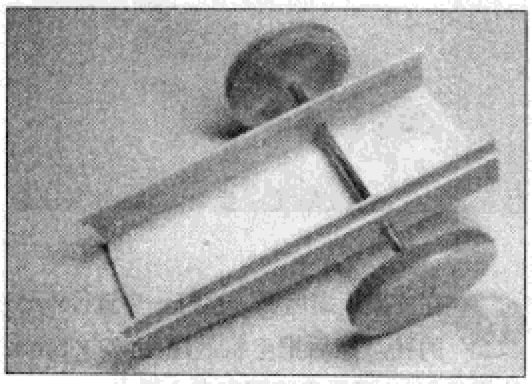
2 把两个车轮分别套到长轴两侧。为了便于发力并确保准确，可以用尖嘴钳夹紧长轴，然后把长轴一端压入放置于桌面上的车轮的轴孔，使长轴的一端抵到轮子底面的桌面即可。



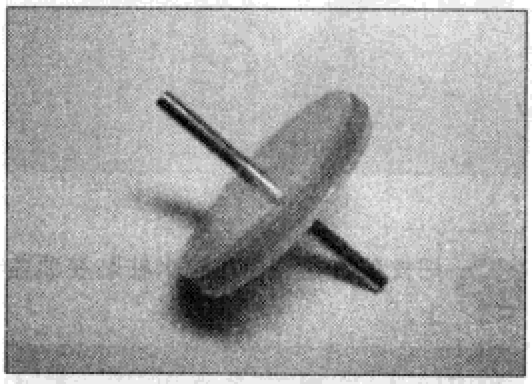
3 将PVC线槽的凹槽部分，剪出长约6cm的一段，作为小车的底盘。在距小车底盘一侧大约2cm的地方，靠近小车底盘的内底面（但不要贴着底面），在底盘两侧各打一个直径为2mm的小孔，作为车轴的安装孔，即轴承孔。



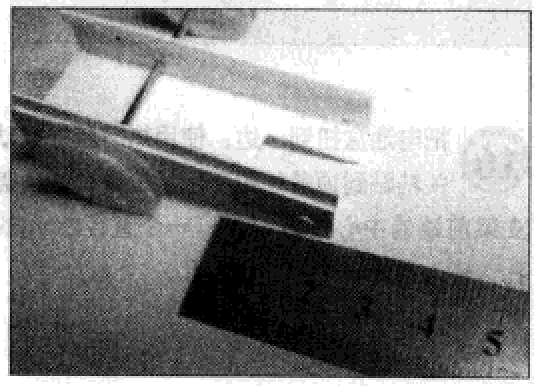
4 把长轴上一侧的车轮拆下，然后把长轴插入底盘的轴承孔，再把车轮套回长轴上。用手拨动车轮，让车轮转动，然后调整轴承孔的大小，确保车轮可以灵活顺畅地转动。



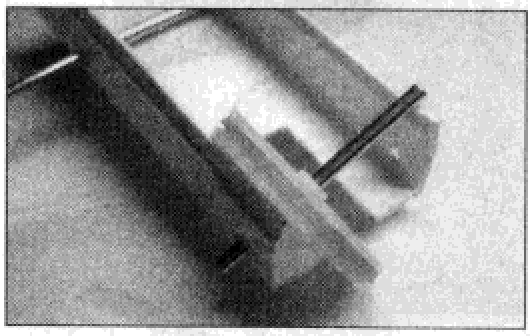
5 把橡皮圈套到另外一个皮带轮上的轨道中，做成前轮。然后把短轴插入前轮的轴孔中，深度基本上到达短轴的中点位置，即让前轮两侧伸出的短轴长度一样。



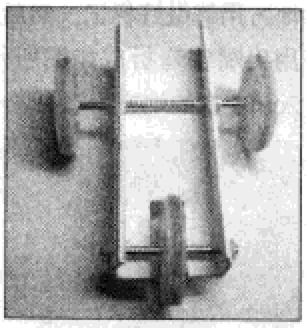
6 在底盘的另外一端，离侧边大约5mm的位置，靠近底面，在两侧各打一个直径为2mm的小孔，作为前轮轴承孔。然后在底盘前端中心位置，用剪刀开一个深2cm、宽1cm的槽。



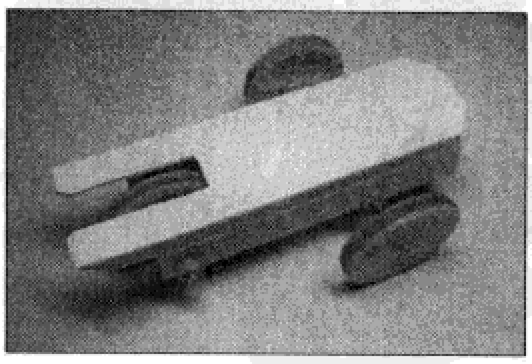
7 把前轮安装到底盘上。为了安装顺利，可以先把短轴往一侧伸出一点，然后把该侧插入底盘上的前轮轴承孔中，前轮也放入底盘上的凹槽，之后再用尖嘴钳把短轴调整到前轮中心位置，就可以顺利地把短轴的另一侧也插入轴承孔。



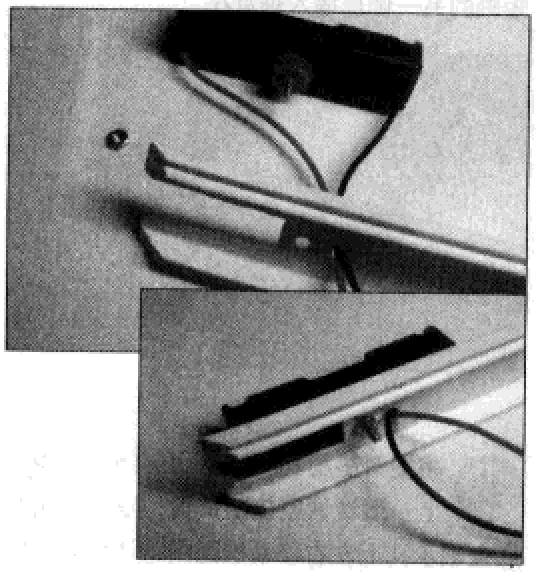
8 将塑料垫圈套到底盘两侧伸出的短轴上，适当调整垫圈位置，限制前轮在底盘轴承孔上左右移动的范围，让前轮正好位于底盘凹槽的中间，并且可以稍微左右摆动。假如前轮后端碰到了底盘的凹槽，则需要把凹槽再往里开深一点，假如前轮转动不顺畅，则要把轴承孔稍微开大一点，并且短轴两端的垫圈不要夹那么紧。后轮也用垫圈限制好位置。



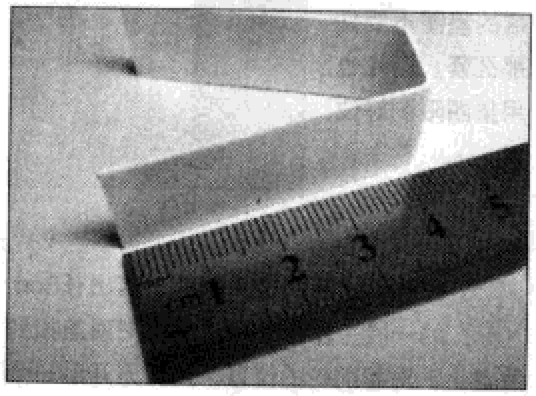
9 把PVC线槽的槽盖用剪刀剪出长8cm的一段，作为小车顶盖。把顶盖扣到底盘上，对着前轮的位置，用剪刀开出一个长约2.5cm、宽约1cm的凹槽。把顶盖完全移到底盘顶部，正常情况下，应该前后端都比底盘长出一截，特别是前端突出的位置要超过前轮的前端。把顶盖各个直角的转角，剪成斜角的转角。



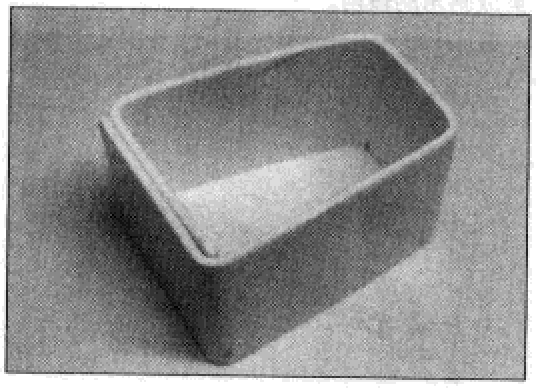
10 把顶盖卸下，然后在凹槽后侧并联打两个直径2mm左右的小孔，其中靠近凹槽的是电池盒的安装孔，后面一个是导线的引入孔。把电池盒的导线穿过顶盖上的孔。用M2×10mm的螺丝穿过电池盒上的安装孔，从下端穿出，并且套上4片M3的垫片。再把M2×10mm的螺丝穿过顶盖上的安装孔，然后拧上M2螺母。



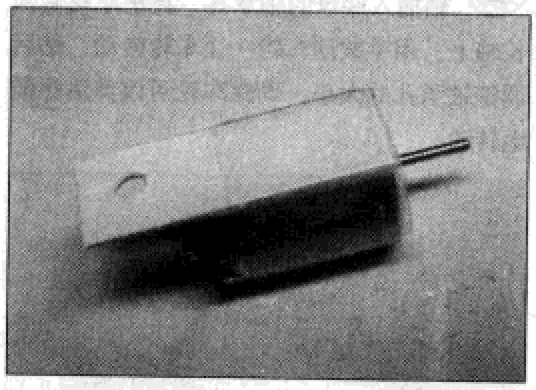
11 剪一段长10cm、宽1cm的PVC方条。在方条中心位置左右两侧各0.5cm的地方用笔做好标记。然后顺着标记的位置，用尖嘴钳弯折成如图所示的形状。在两侧2cm左右的地方用笔再做一个标志。



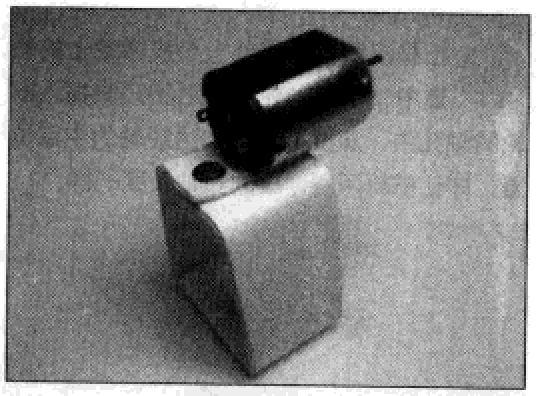
12 对着标志，用尖嘴钳折成如图所示的形状，即一个支架的造型。把两端接合的部位，用502胶水粘贴在一起。



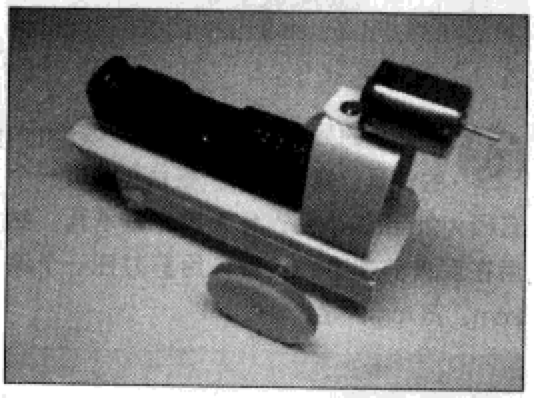
13 剪一块长2cm、宽1cm左右的PVC方块，作为电机底座。在一端打一个直径2mm的小孔，作为固定孔，然后把电机用透明胶带捆绑粘贴在底座上。



14 在支架顶端后侧，也打一个直径2mm的孔。然后把电机底座用M2×6mm的螺丝和M2螺母安装固定在支架上。

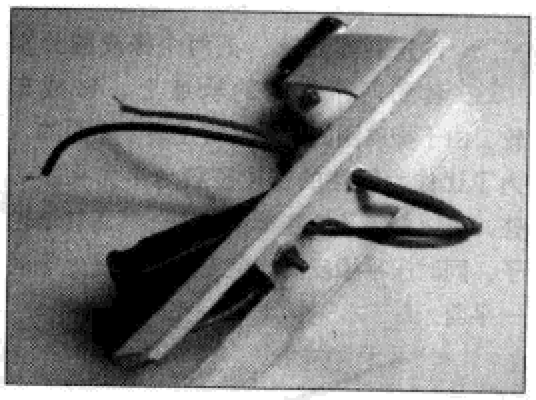


15 把支架直接用502胶水粘贴在顶盖上。

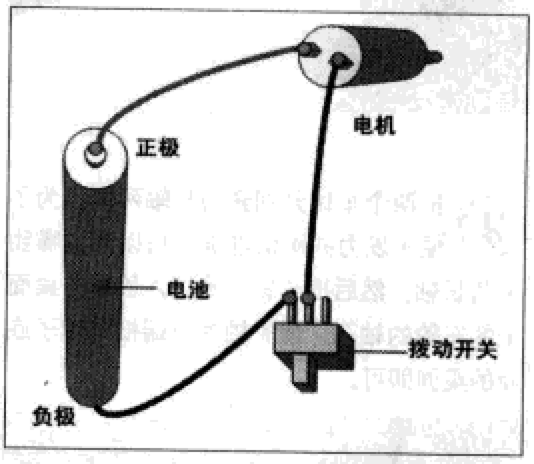


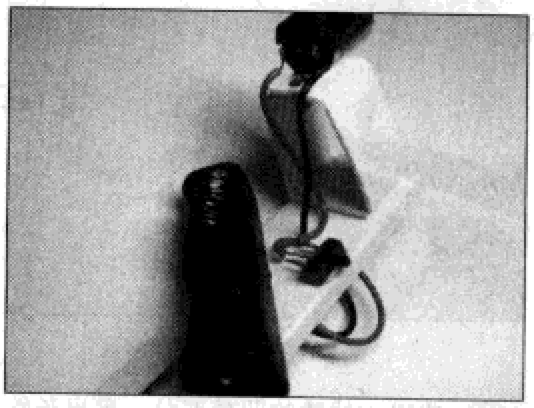
16 把电池盒扭到一边，使用热熔胶把拨动开关粘贴到顶盖如图所示的位置。在顶盖上支架前端的中心位置，再打一个直径2mm的小孔，作为另外一个导线引入孔。

17 把电池盒的导线通过这个新的孔重新穿到顶盖上面。

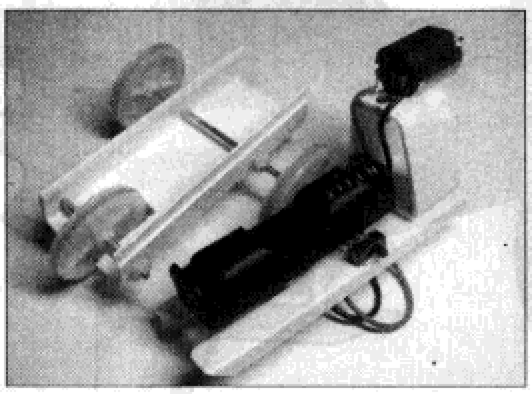


18 参照电路焊接示意图，把电路焊接好。尽可能把导线长度剪短到合适的程度。

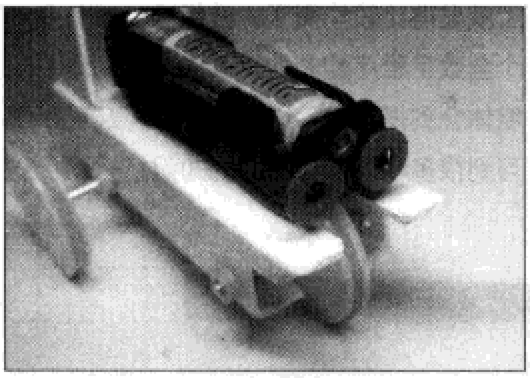




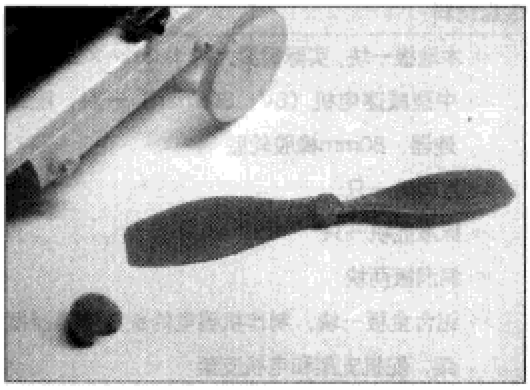
19 把顶盖部分装到底盘上。装上电池，这时通过拨动开关应该可以控制电机的转、停。假如无法正常控制，请检查电路是否焊接正确。



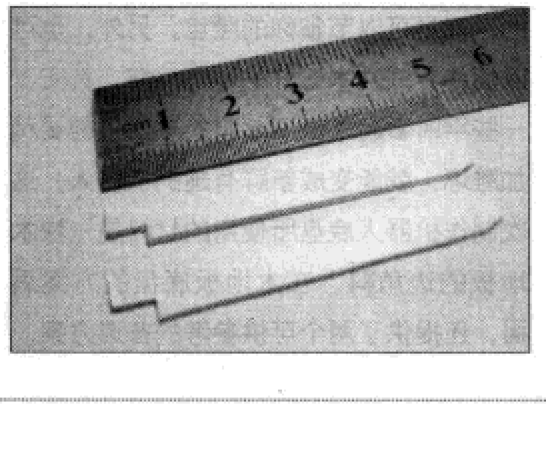
20 取两片M3的红色垫片作为眼睛，借助502胶水粘贴在电池盒前端。



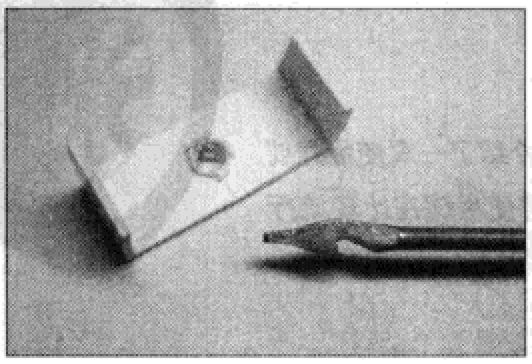
21 直接装上一个买来的现成的螺旋桨，就全部完工了。不过，为了充分体现DIY的精神，我们强烈推荐螺旋桨也自己DIY，具体制作过程请继续阅读。



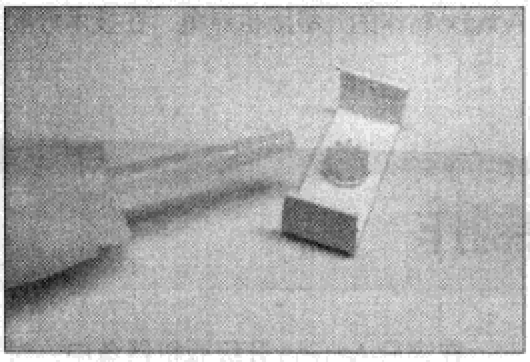
22 剪两片长5cm、宽0.8cm的PVC长条，其中一侧剪成斜边的拐角，作为螺旋桨的桨叶。



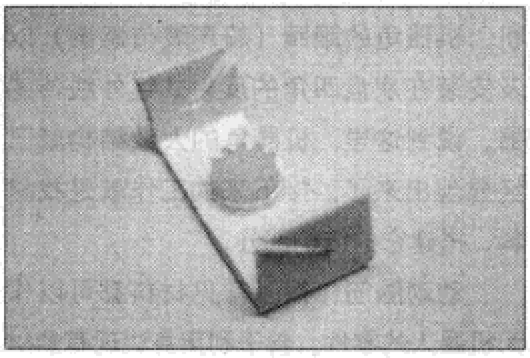
23 把PVC线槽的凹槽部分剪出长1cm的一段，并且把凹槽上端的卡槽剪掉，作为螺旋桨的桨叶根。在桨叶根的中心位置打一个小孔，然后用锥子旋转扩大。假如锥子扩大的孔还不够大，则可以借助镊子旋转扩大。要把小孔扩大到5mm左右，让齿轮正好可以嵌入。



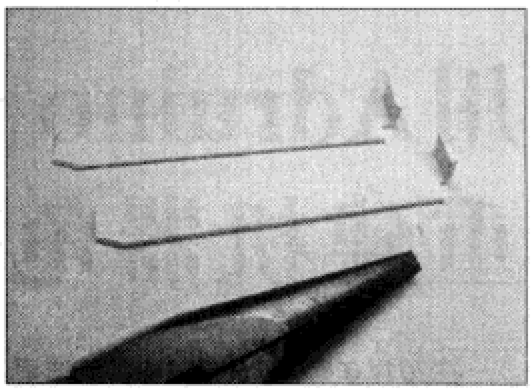
24 把齿轮完全嵌入桨叶根，做成桨毂。在桨毂和桨叶根的接合部位滴入502胶水固定好。



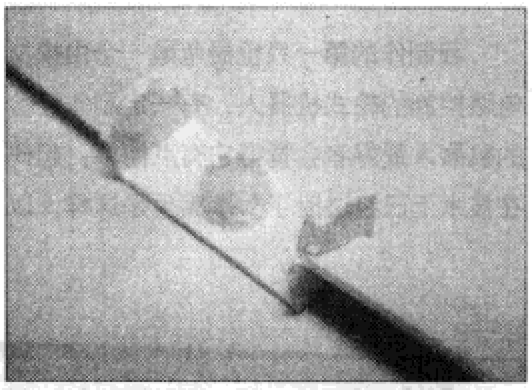
25 在桨叶根侧边的对角画一条线。用剪刀沿着对角线剪开一道槽缝。



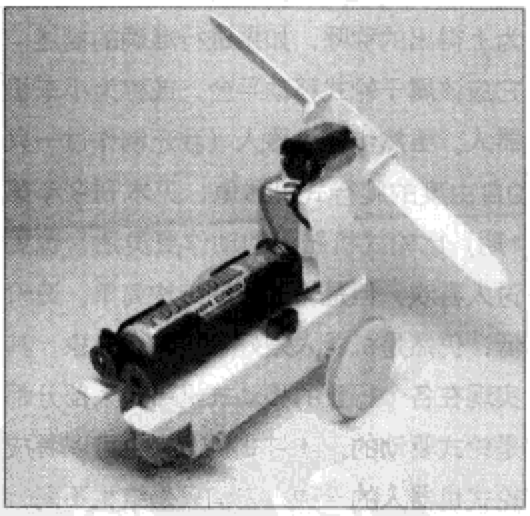
26 将桨叶剪开一个深0.5cm的口子，把前端用尖嘴钳弯折成直角。



27 把桨叶的弯折部分扣入桨叶根的槽缝中，滴上502胶水固定住，然后把粘合处修剪平齐。

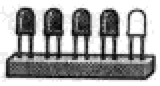


28 把螺旋桨装到电机上，至此风行者最终制作完成。

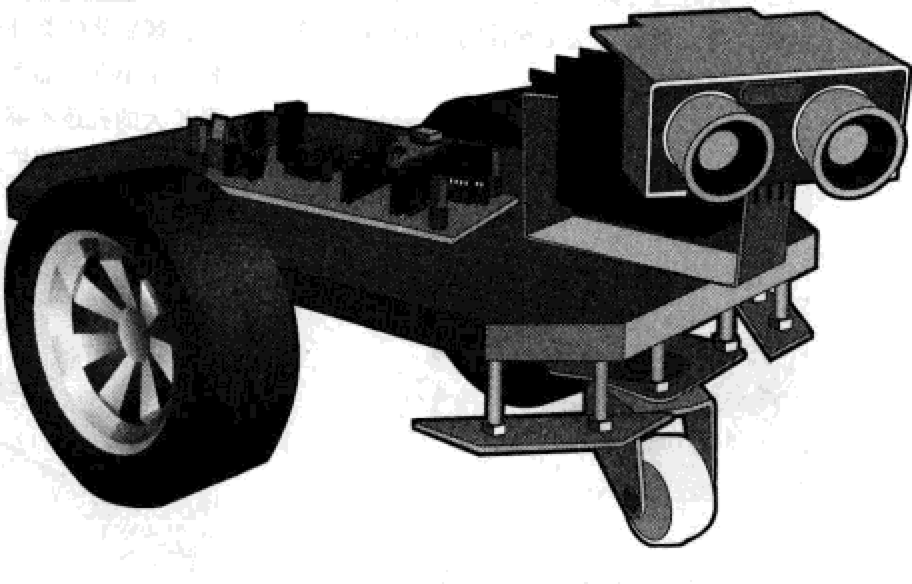


作为一个典型的制作项目，螺旋桨小车经常被选入各类科技制作活动。与传统直接使用现成套件制作的螺旋桨小车不同，我们这里更强调一种自己动手制作的精神，所以建议有志于提高或者展现自己动手能力的朋友，不妨来尝试一下。Ⓦ

◇臧海波 ◇插画：刘少冉

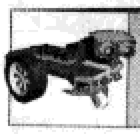


用Adruino重建机器龟



在2011年第6期《无线电》杂志里，我介绍了一只使用异或门与阻容元件制作的机器龟。在本期，我将使用现在比较流行的Adruino控制器重新建造一只功能更加丰富的升级版机器龟。

我制作的第一只机器龟是一个由模拟电路控制的轮式机器人，有一定制作经验的机器人爱好者会觉得它有点简单，起码在技术上已经过时了。事实也是这样，以我们现在所掌握的科学技术翻回头去研究一个老式的模拟控制电路，可能动手的乐趣会更多一些吧！时隔一年有余，这次用Adruino制作的升级版机器龟，在技术分配上就显得比较均衡了。升级版机器龟是一个全数字程序控制的机器人，在制作中既能体会到搭建硬件结构的乐趣，又可以学习到很多程序设计方面的知识。



机器龟结构部分的制作

“机器龟”是从机器人的外形和行为上得出的称呼，如果进行准确的描述，它应该属于轮式移动平台，或称为小车机器人。虽然步行机器人（我还制作过一只9自由度的爬行式机器龟，见本刊今年第1期）比轮式机器人的动作更灵活，也更讨人喜欢，但是轮式驱动结构简单、造价低，仍然是机器人爱好者的首选对象。其实现在各个行业的移动式机器人大部分都是轮式驱动的，履带式机器人也可以看成轮式机器人的一种，它们只是结构不同，驱动方式都是相同的。一般小型轮式机器人的控制电路需要解决3方面的问题。

（1）底盘：轮式或履带式机器人的驱动机构，一般是两只电机。

（2）载具：机器人底盘上搭载的执行机构，包括云台、视频采集、机器手等。

（3）传感器：感知环境信息并发送给控制电路。

在这只 Adruino 升级版机器龟中，对这 3 方面问题的解决都有所体现。它包含了以 PWM 方式驱动底盘运动的两只电机、控制机器龟的头部转动的一只舵机、机器龟的眼睛（超声波传感器）以及安装在底盘四角的反射式红外线传感器。说到这里，机器龟的大致结构就已经显现出来了，接下来的工作就是找材料，搭建它的结构部分。

动动脑筋，很多常见材料都可以作为机器人的零件。善于利用身边现有的材料进行制作，可以带来若干好处。最明显的，就是可以节省你的腰包。另外，也可以使你养成入木三分的观察习惯。其实，一些平时看起来毫不起眼的东西只需要稍加雕琢，就能变成新鲜有趣的机器人。这次制作机器人底盘所使用的材料是一块木地板的边角料。在木地板底盘的方案后面，还提供了两个可供参考的备选方案。这几个方案的共同特点是灵活使用材料、造价超便宜。

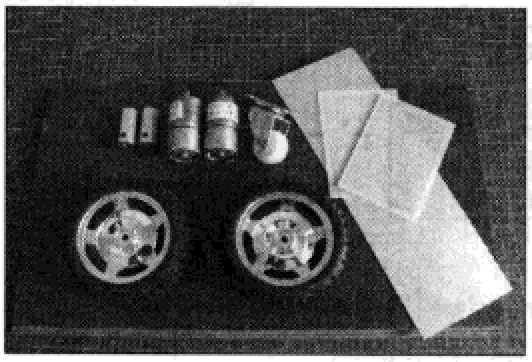
底盘材料：

- >> 木地板一块，实际需要大约 120mm×200mm
- >> 中型减速电机（6V，30r/min）一对，配轴连器、80mm橡胶轮胎
- >> 万向轮一只
- >> 标准舵机一只
- >> 洞洞板两块
- >> 铝合金板一块，制作机器龟的头部传感器框架、舵机支架和电机支架
- >> M3螺丝、螺母
- >> 6V电池仓

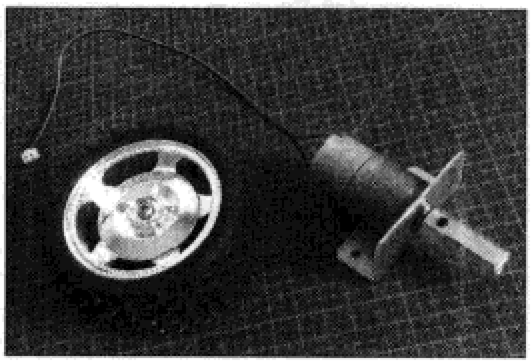
必备工具：

- >> 钢锯
- >> 台钳
- >> 锉刀
- >> 台钻，配M3.2钻头
- >> 十字螺丝刀
- >> 平口钳

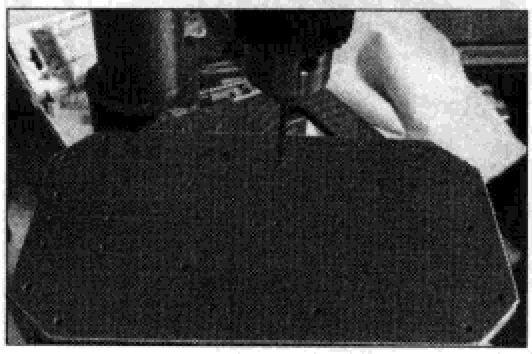
1 机器人底盘的主要材料如图所示。电机、轴连器和轮胎在网上比较大的机器人材料店里可以成套购买。电机支架的结构比较简单，自制就可以了。



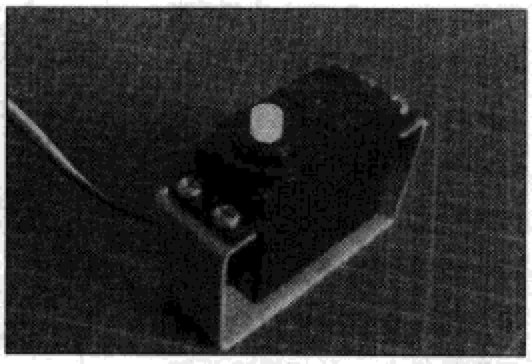
2 首先切割两块铝板，制作一对L型的电机支架。图为电机安装好支架和轴连器的样子。车轮的轮毂内侧是六角形的，可以直接配合轴连器固定。



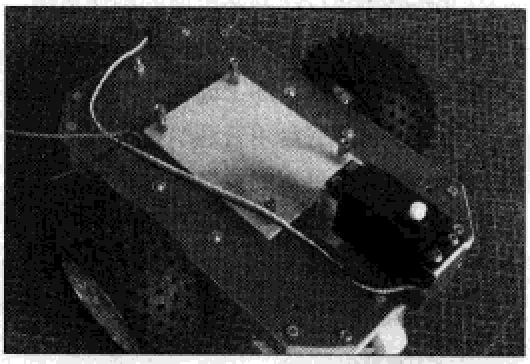
3 木地板可以直接用钢锯切割成型，切割以后，需要用锉刀将边沿打磨光滑，以防掉皮。这次使用的是家里装修剩下的一块地板，因为怕它和现在地面上铺的地板“撞衫”，所以把它反过来使用。背面的颜色看起来有点老式电木板的感觉，复古而亲切。木地板作为机器龟的底盘，全部的结构件和电子部分都安装在上面。因为板材有一定厚度，建议使用台钻打孔，注意打出不垂直的孔将会给后续的安装带来麻烦。为了避免反复拆装，孔需要一次全部打好。



4 用铝板给舵机制作一个U型支架。舵机用来驱动机器龟的眼睛（一个超声波传感器），负荷比较轻，要求不高，使用一般的标准38g舵机就可以了。



5 将电机、车轮、万向轮和舵机安装在底盘上。底盘上面的空间很大，可以用铜柱堆叠多块洞洞板。制作好的底盘比较重，证明事先选择中型电机和车轮的决定是正确的。

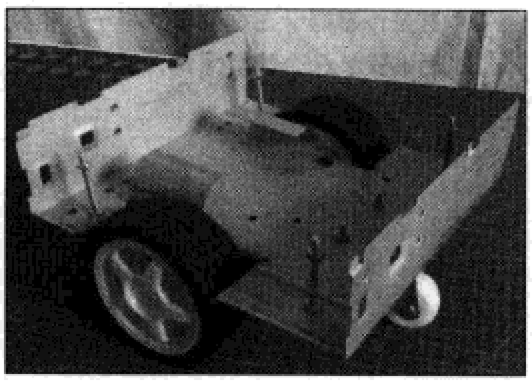


机器龟底盘的替代方案

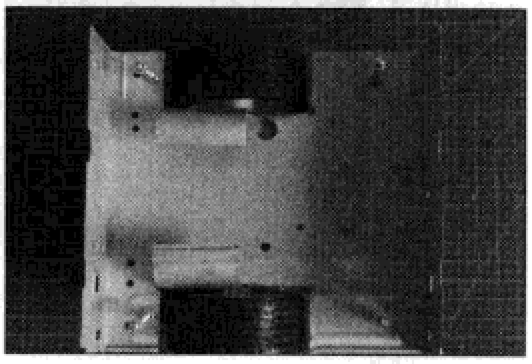
下面是另外两种使用常见材料制作的机器人底盘，它们的成本也就是几元钱的样子，花很少的钱，满足制作欲望，学习新知识，何乐而不为？希望你可以想出更好的点子，制作出更环保的作品。

方案1 用废光驱外壳制作

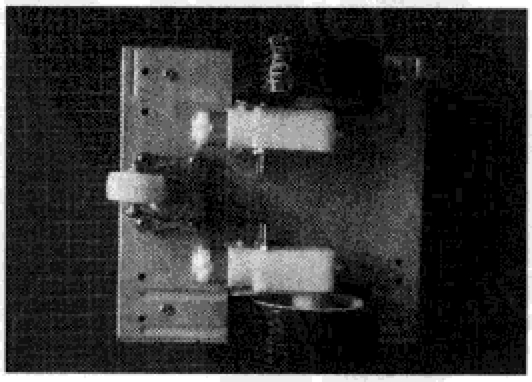
1 这是用废光驱外壳制作的机器人底盘。光驱铁皮的材质属于软铁，非常容易加工，准备一只铁剪刀（普通剪刀不好用）、一只手电钻、一根M3.2的钻头，用不了一个小时就可以完成。当然，电机和车轮的布局还是需要预先好好规划一番，电子设备的固定孔也要一次打好。为了好看，我把外壳剪短了一点，成为一个正方形。



2 这是光驱底盘的顶视图，里面的空间很大，常见的单片机试验板、Arduino控制器或洞洞板都能很好的固定。如果为了外表看起来更规矩或是计划安装云台、机器手这类组件，可以再给它做个盖子。

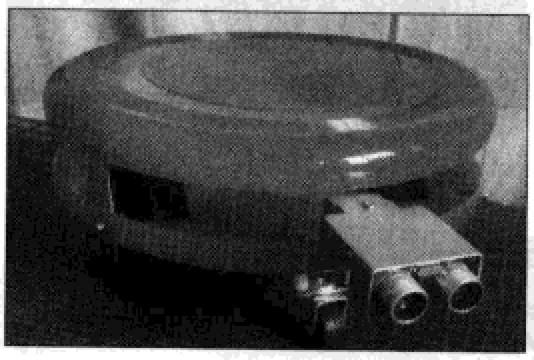


3 这是光驱底盘的底视图。使用的是机器人小车通用的减速电机、轮胎和万向轮。

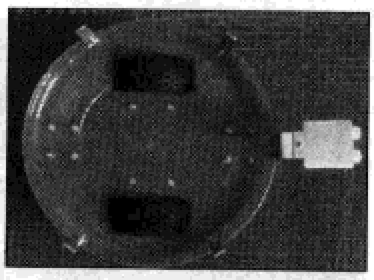


方案2 使用玩具飞盘制作

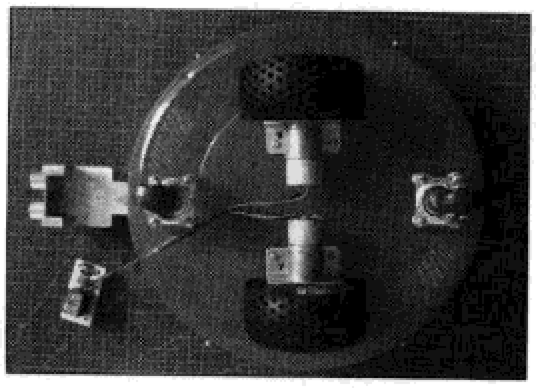
1 这个底盘用的是什么材料呢？没错！两只玩具飞盘！这个机器人参考了www.thinkbotics.com网站里面的制作思路。飞盘是一种非常理想的底盘材料，耐磕碰，硬度和韧性都不错，加工简单，只需要手钻和美工刀。制作底盘用普通的塑料飞盘就可以，有一种价格更贵的柔性飞盘负重以后变形厉害，效果反而不好。

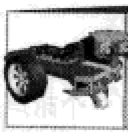


2 这是底盘的顶视图（拿走上盖的样子）。飞盘里面的空间更大，即使放一套视频传输设备也绰绰有余。飞盘边沿安装几根细铝条，上盖直接扣在上面。上盖是一个完整的飞盘，不需要做任何加工。高兴了还可以拿下来到院子里玩玩。



3 这是机器人的底部。飞盘比较大，考虑到以后安装的设备会比较多，我使用了中号的减速电机和80mm的大轮胎做驱动。为了防止底盘变形或意外翻车，前后两侧都安装了辅助支撑的万向轮。





机器龟电子部分的制作

机器龟的电路图如图1所示。L293D芯片的第8脚和超声波传感器的+5V取自Adruino NANO。用到的元器件如图2所示。请注意，国产插针的质量比较差，用普通恒温烙铁达不到完美的焊接效果，建议使用焊台，配刀型烙铁头，并把温度设置在375℃左右进行焊接。

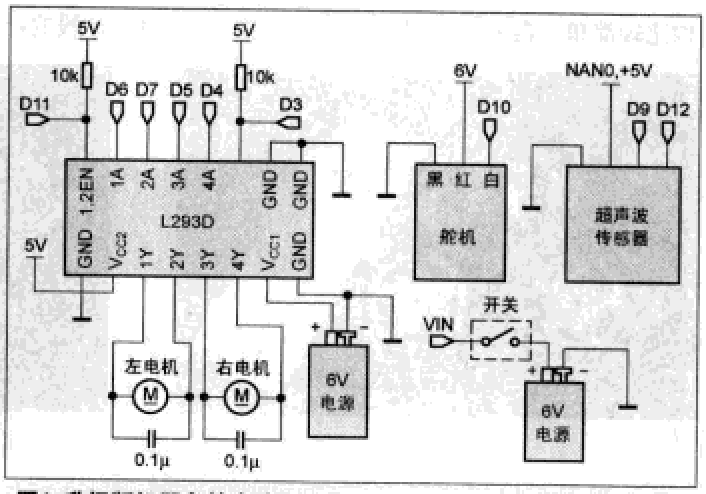


图1 升级版机器龟的电路图

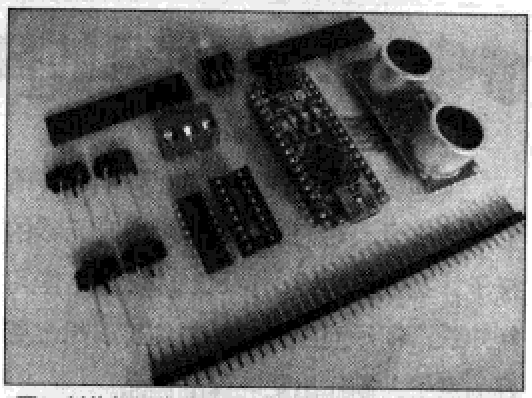


图2 制作机器龟电子部分所需的元器件

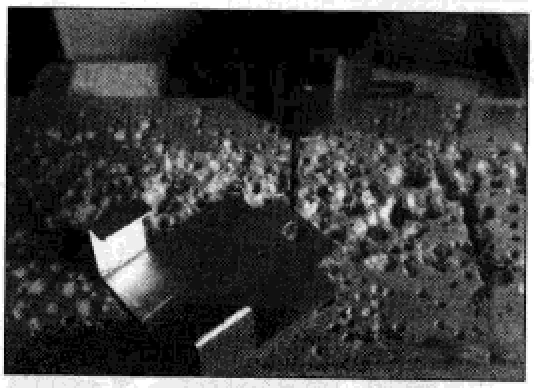
底盘材料：

>> Arduino NANO 3.0控制器	1个
>> 超声波传感器模块	1个
>> L293D电机驱动芯片，配16孔插座	1套
>> 10kΩ电阻（PWM端上拉电阻）	2只
>> 反射式红外线收发对管 TCRT5000（可选件）	4个
>> 接线端子	1个
>> 电源开关	1个
>> 附件：排针、排插、杜邦连线	适量

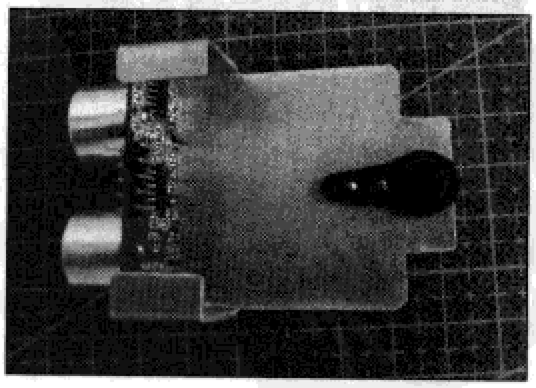
必备工具：

>> 焊台、焊锡

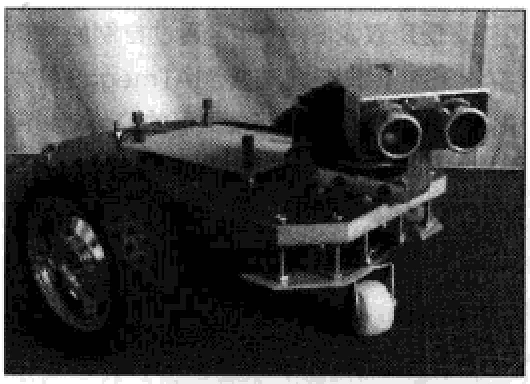
1 首先需要用铝合金给超声波传感器制作一个框架，传感器靠架子的弹性卡在里面，不需要螺丝固定。



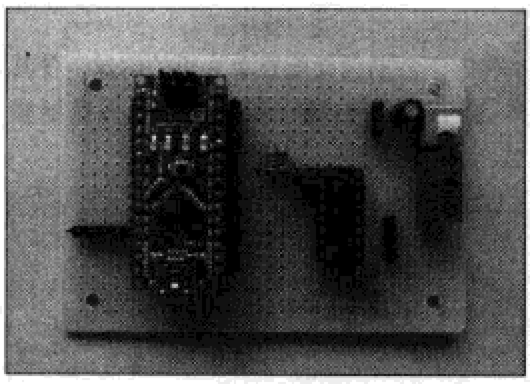
2 这是传感器卡在框架里的样子，框架后端安装一个舵机摇臂，这部分好比是机器龟的脖子。



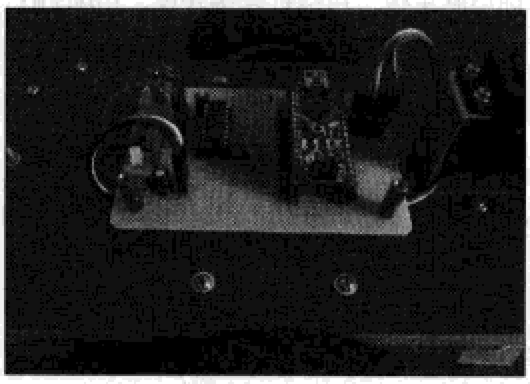
3 将头部安装好，机器人已经初具雏形了。注意底盘下方安装的小洞洞板，这是用来安装反射式红外线对管用的。



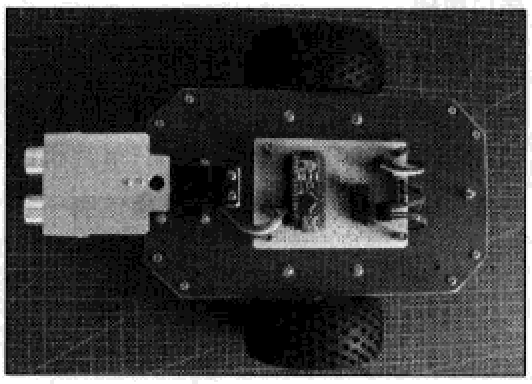
4 单片机的电路特点是简单。注意电机驱动芯片L293D与L293的区别，它们的封装和参数是一样的，只是前者电机输出端的保护二极管是内置在芯片里面的，后者需要在外单加8只二极管。使用L293D可以使电路板看起来更简洁。



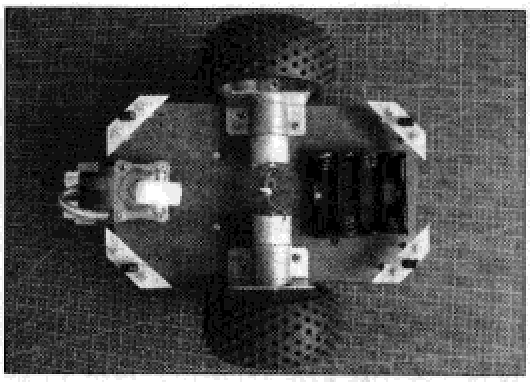
5 将电路板安装到机器龟的底盘，用杜邦线连接好对应的外设，机器龟的硬件部分就组装完毕了。



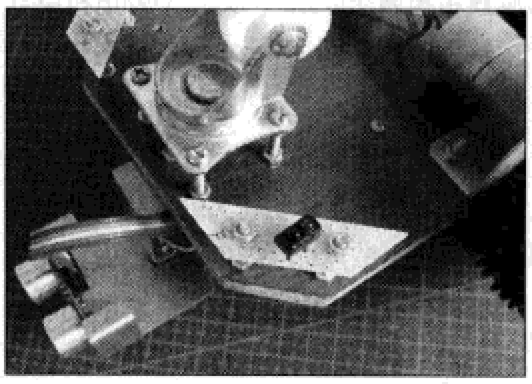
6 这是机器龟的顶视图，可以看出底盘上面的空间还是很宽裕的。以后把头部的传感器换成一个2自由度的摄像头，再安装上远距离视频传输设备，就是一个实用型机器人了。

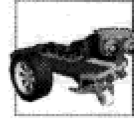


7 这是升级版机器龟的底视图。注意底盘四角的红外线反射式对管的位置，它们的布局应该在3个车轮的圆周以外。因为现在只是让机器龟在平地上跑，不用考虑防跌落和边缘检测这类问题，这些传感器都没有连接。



8 图为传感器的细节。传感器通过洞洞板和螺丝固定在底盘下方，使用加长螺丝或铜柱来调整传感器与地面的高度。



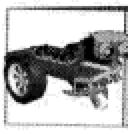


机器龟的程序部分

机器龟的硬件结构设计得比较完整，在程序上有极大的适应性，除了自己设计程序，也可以把网上其他机器人爱好者的程序载入这只机器龟。这有点类似动画片《攻壳机动队》里所展示的那样：机器人是一种程序（或者说是思想、记忆）的载体。试想你可以在一个机器人上运行多个设计师编制的程序，也是一件非常奇妙的事情。

现在这只机器龟使用的是一个比较经典的MAKEY机器人程序。《无线电》杂志出品的《爱上制作5》中，对MAKEY机器人进行过介绍。这是一个开源DIY项目，你可以在MAKE网站上下载它的全部源文件，地址是http://makezine.com/19/makey/。这个项目还包含了一个铝制的轮式移动平台的设计方案。MAKEY的行为包括巡视、避障、测距、物体跟随等。

另一个可供参考的机器龟控制程序来自LMR（一个热门机器人DIY网站），地址为http://letsmakerobots.com/node/31993，这个程序的运行效果也非常好。注意，原作者在这个移动平台上使用的传感器是国内不太常用的夏普红外线测距传感器GP2Y0A21-F，造价稍高。但是他的电机驱动和舵机部分的程序还是有一定参考价值的。



自制Arduino控制器

很多“死硬派”爱好者，会对底层硬件更感兴趣，比如自制Arduino控制器。你可以尽情发挥DIY的优势，把它设计得更加方便实用。比如下面我用ATmega8制作的一块专门用来控制机器人的Arduino控制器。

我的思路是把单片机的I/O口和AD口都以杜邦插针的形式引出来，并给每个口都配上一组电源。现在市场上常见的机器人电路模块，无论是输入设备还是输出设备，差不多都是3针接口，包括3个端子——电源正、地线和信号。此外它们在接口电平的设计上大都与单片机兼容，可以直接连接，比如红外线传感器和舵机。即使是接口比较多的模块，比如超声波传感器占用两个I/O口、双路PWM电机驱动电路占用6个I/O口，也可以很方便地用杜邦跳线来连接。

这块电路板的尺寸比较小，为了焊接方便，我选用了体积较大的双列直插封装的ATmega8单片机，即便如此，做好的控制板也仅有一只打火机大小。它的功能相当于在一块Arduino控制器上面插了一块传感器扩展板。这个精简的电路布局是直接面对应用设计的，你可以把它看成一块迷你电脑主板，用插针连接外设，用Arduino开发环境给它设计软件，我把它称为“工程板”，如图3、图4所示。

下载了Arduino自编程程序的ATmega8工程板，可以通过串口或USB转串口电缆与电脑连接，并使用Arduino开发环境里面的Tools→board→Arduino NG or older w/ ATmega8进行调用。同样的方式也适用于ATmega128和ATmega328单片机，只要给单片机烧上对应的自编程程序，并在软件里选择对应的电路板就可以使用。

工程板的结构非常简单，只需要给单片机提供电源和外部晶体振荡器、复位端的上拉电阻，并将全部的信号引脚引出就可以了。串口部分建议使用单独的USB转串口电缆。

单片机下载了Arduino自编程程序以后，它就变成了一片Arduino控制器的内核。操作之前，一定要对AVR单片机的下载、自编程、熔丝和串口通信有一定了解。

在Arduino开发环境根目录下的hardware\arduino\bootloaders\目录里可以找到对应单片机的自编程固件和源代码，我使用的是ATmega8文件夹里面的ATmegaBOOT.hex固件。ATmega128或ATmega328的固件和源代码在另外的目录中。

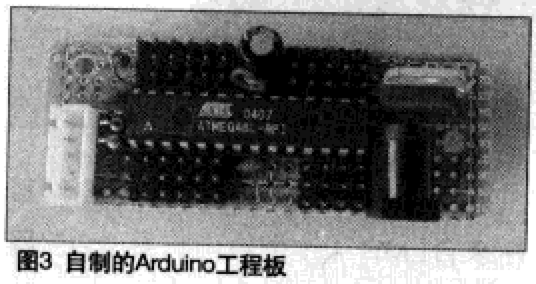


图3 自制的Arduino工程板

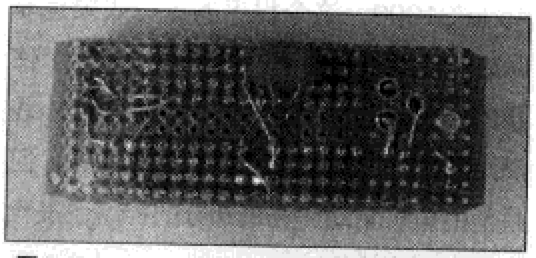


图4 ATmega8工程板的背面，红色热缩管包着的是一只16MHz的晶体振荡器

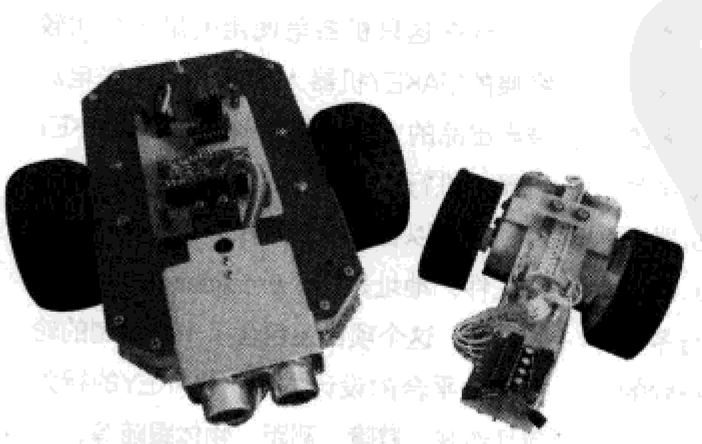
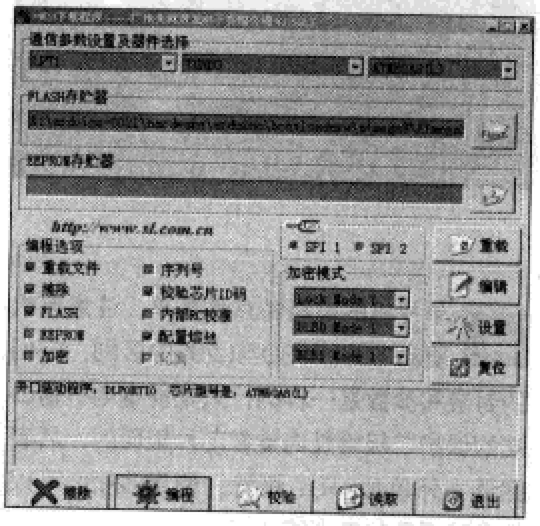
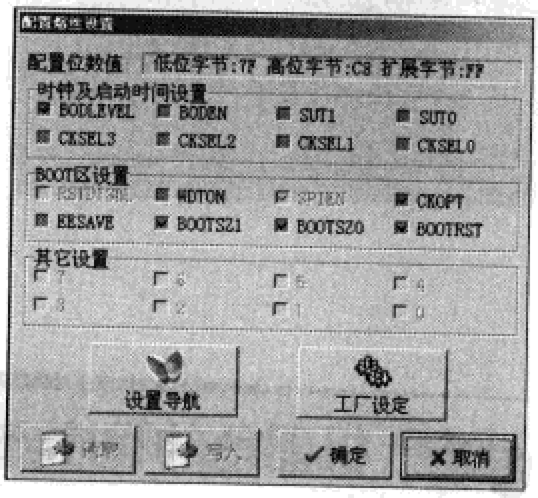


图5 两只机器龟的合影

1 使用双龙ISP软件，通过自制的并口ISP下载电缆连接到ATmega8单片机。选中Arduino开发环境里面的ATmega8自编程固件，准备下载。

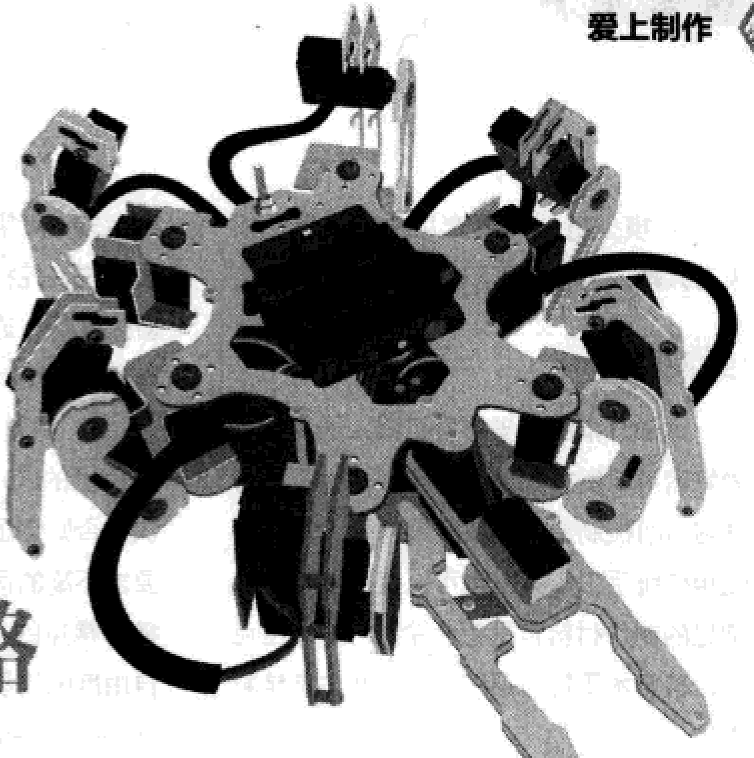


2 下载前需要配置单片机的熔丝，使其工作在自编程和外部晶体振荡器模式。



下载了Arduino自编程固件的单片机，接好电源、外部晶体振荡器就可以通过串口使用Arduino的开发环境了。

最后的照片是一张两只机器龟的合影（见图5），图中左侧是Arduino重建升级的数字龟，图中右侧为去2011夏天制作的模拟龟。



◇臧海波 ◇插画：刘少冉

6足机器人制作全攻略

6足机器人是目前机器人爱好者之间谈论比较多的话题。这种机器人的特点是结构复杂、技术含量高、行动异常灵活。它可以按照主人的指令执行各种花哨的动作，跨越高低起伏的障碍，还可以吓得小动物四散奔逃。当然，制作过程也充满了挑战。与双足机器人一样，同样是多自由度机器人，但6足机器人更受欢迎，其中一个主要原因是它更容易实现。

双足机器人腿部的舵机会承受整部机器人的重量，对一般的模型舵机来说，是个严峻的考验，舵机的性能和价格比呈指数级上升，这就增加了制作成本。而6足机器人的结构决定了它在平衡性的控制上比双足机器人容易得多，几条腿分散受力，使机器人对舵机的要求相应降低了。实际上很多爱好者制作的6足机器人使用的都是价格非常便宜的迷你舵机，完工后的机器人也非常迷你，所以很多人都亲切的称这种6足机器人为“小六”。

那么，如何着手制作一台小六呢？在正式开始之前，我想先发表一点关于这个级别作品制作理念的一点看法。在翻译一些国外爱好者撰写的优秀文章和书籍的过程中，我发现了一个非常有趣的变化——用词的变化。摩机（MOD，modify）和DIY，尤其是DIY，是我们电子爱好者用得最多的词了。摩机一词在20世纪90年代的电子类刊物里面就频繁出现了，常见于音响，至于DIY，则是随处可见了。那么其他国家的爱好者喜欢用什么词汇来形容他们所从事的创作活动呢？DIY一词仍然很常见，而更多使用的则是make（制作）、build、construct 、create（三者均有建造和搭建的意思）、model（模型）、remodel（改造）、assemble（装配）、hack（修改）、project（项目）、plan（方案）等。和DIY相比，这些词强调的是资源整合和重组。从这些词语的变化，也可以看出这几十年间爱好者制作理念的巨大变化。

对于小六这样比较复杂的制作，我总结出来一个观点，说白了就是“不一定什么都懂”。其实我们只要知道如何利用好现有的资源，把它组合在一起，并实现预想的功能就可以了。那么小六包括哪些资源呢？主要有以下3大部分。

动力和运动部分

遗憾的是，现在市场上可供机器人爱好者使用的经济实惠的专用材料很少。大家常用的材料都来自另一个领域——无线电遥控模型。好在模型配套的电池、充电器和舵机都是非常成熟的产品，规格全，价格也相对便宜。动力部分最常用的就是6V的镍氢电池或者7.4V的锂离子电池，运动部分最常用的是9g舵机和38g舵机（又叫标准舵机）。需要注意的事有以下几项。

1. 这里所说的“Xg”舵机，一般指的不是舵机的重量，而是舵机的体积。小六使用的是9g舵机，一些塑料齿舵机重量的确在9g上下，而质量更好的金属齿舵机重量则达到12g或者更高。但是它们的体积是相近的，安装孔也互相兼容。

2. 这类舵机是用在无线电遥控模型上的，并不是机器人专用舵机。好在我们制作的是负荷不太重的小型机器人，它们已经足够满足使用要求了。最重要的一点是，它们比较便宜，而且各个品牌之间有一套通用的标准，安装和使用都比较方便。

3. 这类舵机的设计寿命一般都不太长，通常连续运转不超过30小时就会因为机件疲劳而报废。不过不用太担心这个数字，因为它们在机器人上是间歇运转的，实际可以使用很长很长的时间。

4. 模型电源一般是通过电调稳压后，通过无线电接收机给舵机供电，在机器人上需要采取其他降压措施。注意最好不要让7.4V锂离子电池直接给9g舵机供电（9g舵机的额定电压一般是6V）。实际使用中最常见的办法是串一个大电流的二极管（正向压降0.7V）或整流桥的半桥，这个方法的缺点是舵机跑起来发软。如果用38g舵机制作中型机器人，可以直接用锂电池供电。

5. 模型电池需要专用的充电器。如果有兴趣，这部分是可以尝试一下 DIY 的。

结构部分

这部分指的是支撑着机器人的骨架，爱好者可以发挥的余地非常大，尤其适合学习过机械制造的朋友大展身手。工具可使用传统手工工具，也可以使用雕刻机，常见的制作材料包括铝合金、PVC、压克力，甚至木质骨架都出现过一些非常精彩作品。

控制部分

多自由度的机器人，一个自由度就是一个关节，意味着要控制一个舵机。基础型小六需要至少12个舵机（每条腿两个），但是更常见的是每条腿3个、一共18个舵机的结构。如何让这么多舵机有序运转，就需要用到舵机控制板了。从本质上说，舵机控制板就是一种产生脉冲的协处理器，通过串口接收数据指令并分配脉冲。我们有两个可选的方案。

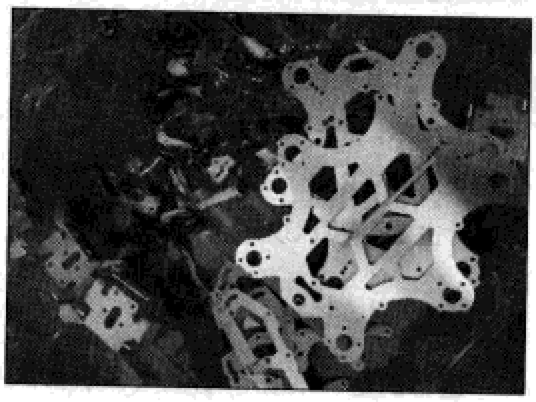
1. 用单片机直接控制舵机。前提是单片机的I/O口数量足够多，并且速度够快，否则会出现脉冲时序的问题。比如，要求不高的话，Arduino就是一个不错的选择，常见的UNO有13个I/O端口，制作12自由度的简易小六是可以的，还可以利用Arduino自带的SERVO函数和MAP缩放函数。这个方法的缺点是技术难度大、需要底层编程、单片机的利用率不高、程序改动起来非常麻烦、不同作品之间兼容性不好，这个方法适合对某个型号的单片机和编程语言非常熟悉的爱好者。

2. 使用自己设计的或成品舵机控制板，把舵机控制板作为一个功能模块来处理，作品之间兼容性好，一块舵机板可以用来试验好多个机器人。值得一提的是，舵机控制板有两种形式：一种是基础型控制板，只能通过串口控制，自己无法独立工作，使用时需要给它配一块主控的单片机，指令（需要编程）通过主控发送给舵机板；另一种是组合型舵机板，板载动作存储器和扩展接口，可以把编排好的动作储存在板子上，通过蓝牙、PS2或其他遥控方式接收指令，也可以通过主控接收指令。第二种比较适合初学者使用，只要通过PC机上的图形化软件编排好机器人的动作，并存储在舵机板上，就可以用遥控器与机器人互动了。

下面就以我组装的一部6足机器人为例，向大家详细介绍一下小六的装配过程。

小六的制作过程

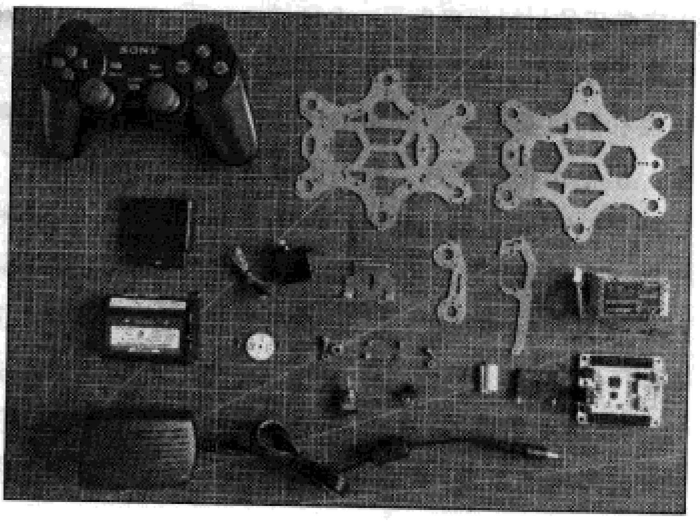
1 小六的结构件采用和机器乌龟（见本刊2012年第1期）相同的材料和相同的工艺，由笔者的朋友陈瑞琪用雕刻机完成。



小窍门：

使用竹制牙签可以非常轻松地去除铝板经过铣刀加工后形成的毛边。

2 右图是小六机器人所需的全部零件（图中所示为零件种类，实际每种不止一个），看起来似乎没有想象中那么复杂。除了铝合金的结构部分和舵机控制板以外，其他零件均为市场上流通的产品。



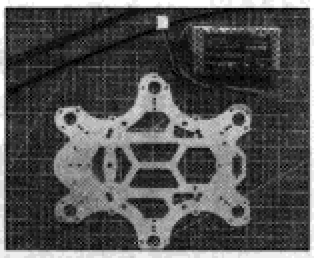
制作 6 足机器人所需的材料：

>> 机器人主体结构件	1 套
>>9g 金属齿舵机	18 个
>> 机器人夹持器结构件	1 套（可选）
>> 夹持器配套的 9g 舵机	2 个（可选）
>>32 路舵机控制板	1 块
>>PS2 手柄、接收器	1 套
>>USB 连接电缆	1 根
>>7.4V，900mAh，25C 锂离子电池	1 块
>> 电源线	1 根
>> 锂离子电池专用平衡充电器	1 套
>> 大电流二极管	1 个
>>PS2/USB 切换开关	1 个
>> 总电源开关	1 个
>>M2/M3 紧固螺母、螺丝、铜柱、尼龙柱	适量
>> 杜邦扁平电缆	9 根
>> 热缩管	适量
>> 尼龙扎带	4 根
>> 螺旋绕线管	适量（可选）

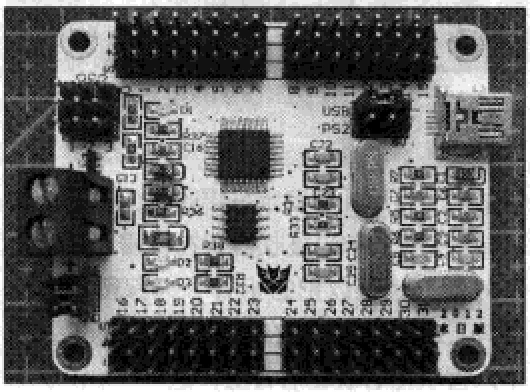
制作工具：

>> PC 或笔记本电脑	1 台
>> 十字螺丝刀	大小各 1 只
>> 弯头钳子、止血钳或镊子	1 只
>> 热风枪或电吹风	1 只

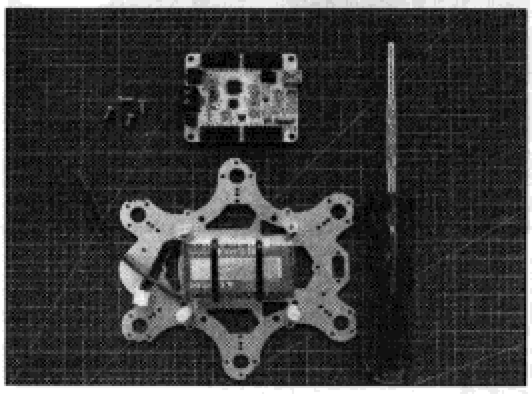
3 开始装配小六的底盘部分，最先安装的是机器人的“心脏”，一块7.4V、900mAh、25C的锂离子电池。



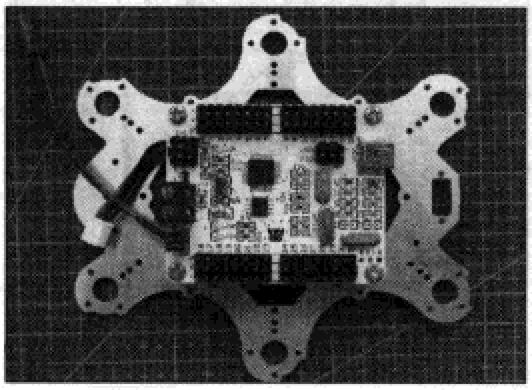
4 这是陈瑞琪设计的32路舵机控制板，内置动作存储器和PS2接口电路。



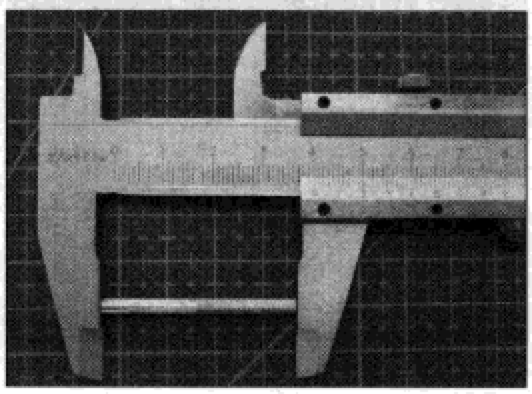
5 电池就位以后，在四周安装4个尼龙立柱，在立柱上固定好机器人的“大脑”——舵机控制板。



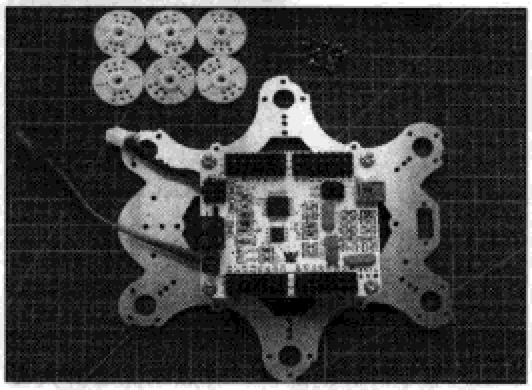
6 这是舵机板就位以后的样子，电池位于电路板正下方，板子和电池之间有一定距离。



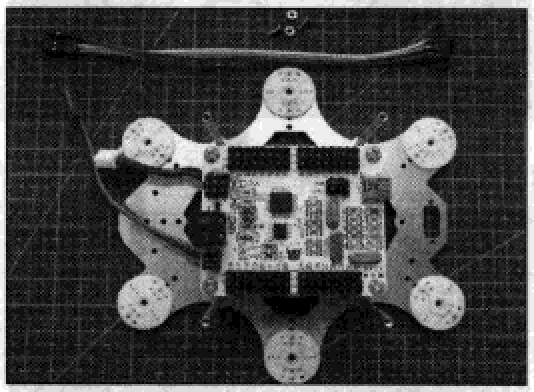
7 这是连接底盘和上盖的铜柱。铜柱高度为40mm，相当于机器人大腿根部的舵机组件（安装上舵盘后）和舵机虚轴侧轴承的高度之和，并留有一定的活动间隙。



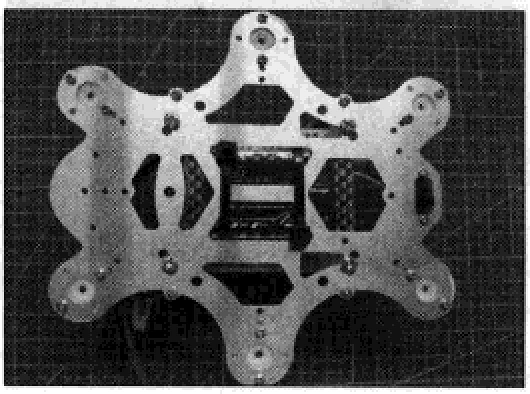
8 在底盘上安装6个和大腿舵机配套的舵盘。注意舵盘有4个安装孔，只要上好对称侧的固定螺丝就可以了，共需要12颗M2自攻螺丝。



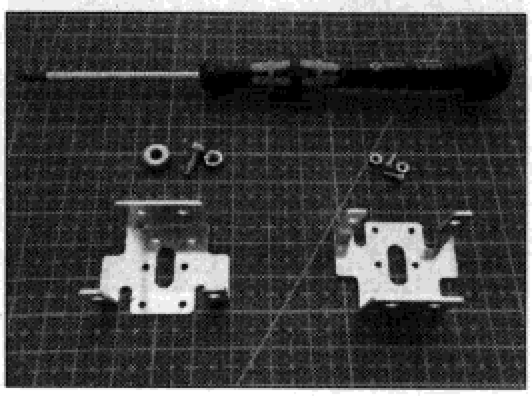
9 安装好6个舵盘和4个支撑铜柱的底盘，下一步是安装PS2手柄和USB电缆切换开关（图中上方）。切换这个开关，可以决定机器人是通过PC机控制还是用PS2手柄控制。



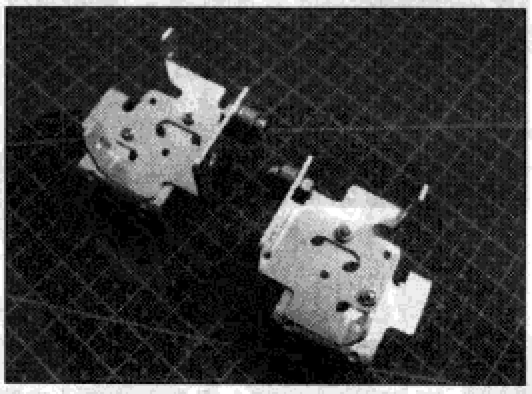
10 开关安装在底盘内侧（图中右侧中间位置），至此，机器人的底盘部分就告一段落了。还差一个降压二极管，最后总装的时候将它固定在底盘（机器人肚皮）下面。



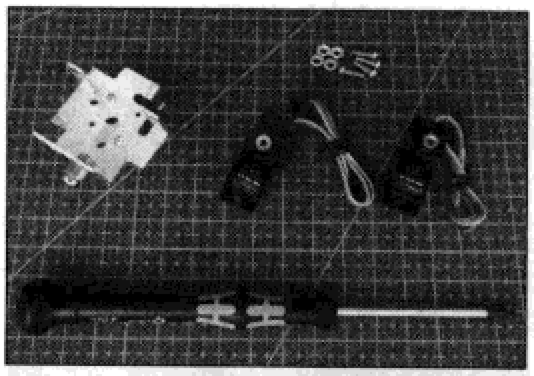
11 开始组装大腿根部舵机组件，这个组件上将要安装两只舵机，分别为大腿第一关节舵机和大腿第二关节舵机。



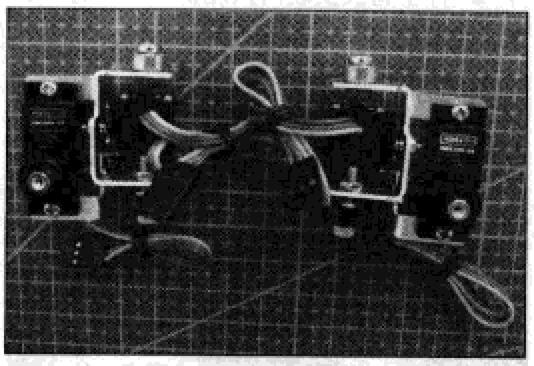
12 这是组装好的一对舵机支架，分别对应着机器人左侧和右侧的大腿。6足机器人需要3对这样的架子。



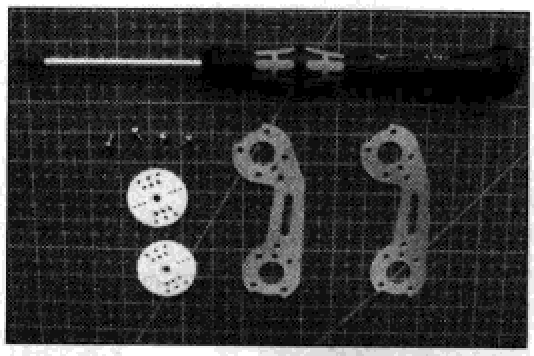
13 在架子上安装大腿第一、二关节的舵机。每个架子安装两个舵机，6个架子共需要12个舵机。



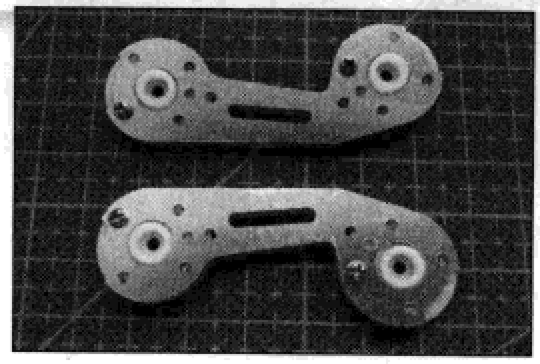
14 这是安装好舵机的大腿组件，图中分别为左侧和右侧组件。虚轴位置装有铜轴承的是大腿第一关节舵机。



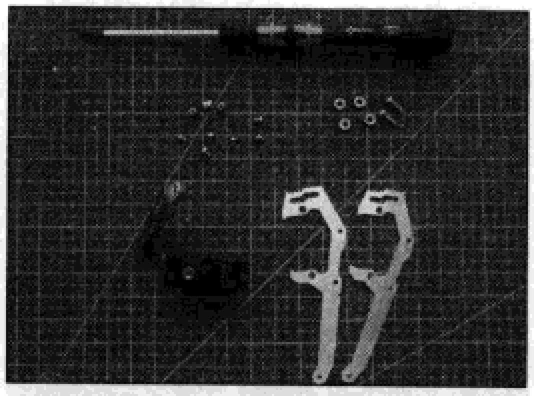
15 组装大腿第二关节，图中所示为一个关节的零件，一共需要6套。舵盘同样采用M2自攻螺丝固定。



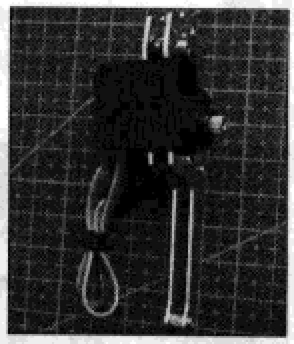
16 右图所示是组装好的左右大腿第二关节。舵盘夹在两个铝合金结构件内侧，与舵机配合的花键朝向同一方向。



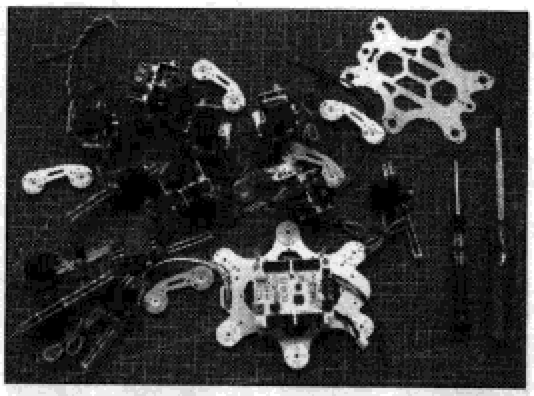
17 组装小腿组件，图中所示为一套零件，和大腿第二关节一样，整个机器人一共需要6套。



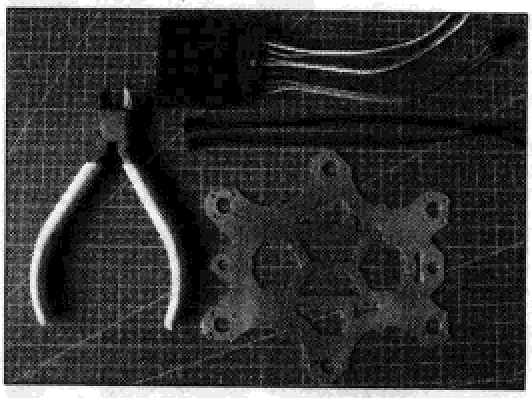
18 小腿和大腿第二关节均采用双层加强结构，小腿的铝合金结构件内侧垫的是一个M2通孔铜柱。



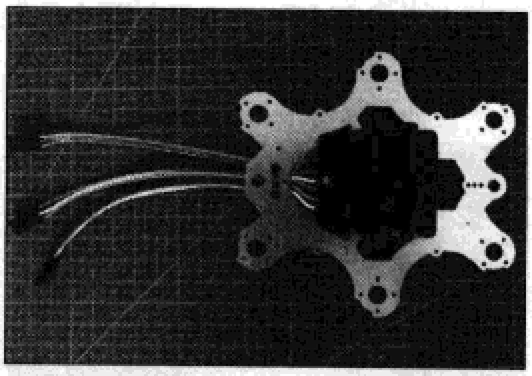
19 完成了80%的样子，看着这么一大堆零零碎碎的部件，有点吃完海鲜大餐后一片狼藉的感觉。



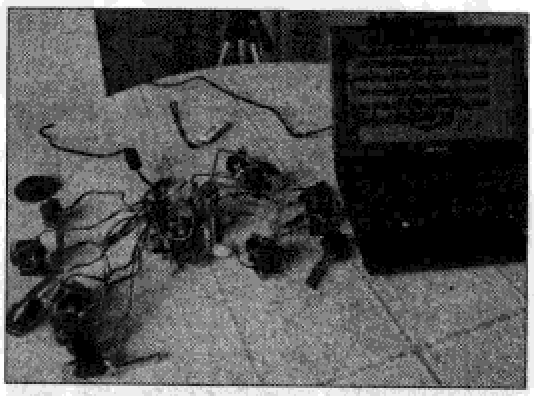
20 机器人的上盖比较简单，就是一只PS2接收器。PS2接收器是不带线的，需要自己加上连线，我使用的是成品杜邦扁平电缆，一共需要9根。



21 图为用扎带固定好接收器的样子。如果觉得PS2接收器背在机器人后背上不好看，也可以把它拆开，只保留机芯，并焊上9根导线，塞在机器人的肚子里。我个人喜欢把它装在后背上，这样PS2模块上面的两个指示灯看起来好像是小六的两个眼睛，观赏效果非常好。



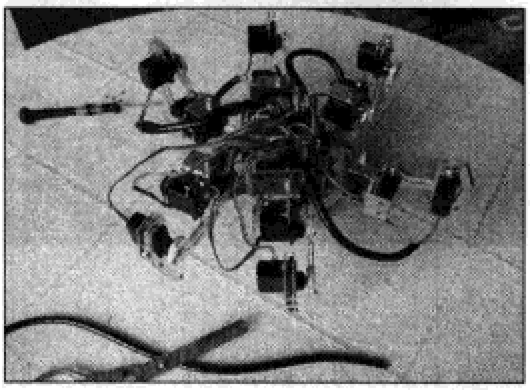
22 接下来是“编程”环节，和前面说的一样，并不需要做底层开发，我们只要编排好机器人的动作，并把它下载到舵机控制板里就可以了。



提示：

需要注意的是，在总装之前，一定要对所有舵机进行复位操作。这是因为买回来的舵机不一定是在中间位置，新舵机拆开包装不做处理就安装在机器人上，很可能因为调试过程中出现的阻转问题而烧毁。

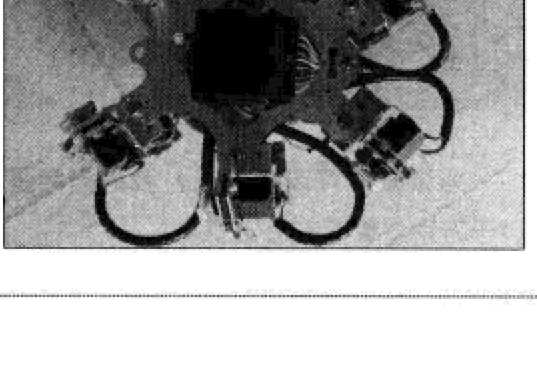
23 舵机复位以后，就可以进行最后的总装了。机器人的结构部分在设计的时候有一个初始状态，指的就是所有舵机复位状态下，机器人所保持的姿态。下图所示即为小六的初始状态。



提示：

舵机与舵机控制板之间连线的固定是一个比较令人头疼的问题，处理不好的话，机器人在运转时，这些电缆极易卡住关节。一般多自由度的机器人都会采取电缆贴着骨架走线并固定的方式，同时在活动部位给电缆留出一定余量。我采用的是另一种不太常见的方式——使用工业控制系统里常用的螺旋式绕线管（上图中的黑色管子）。这种方法处理的好处一是风格独特，二是电缆的活动空间大。

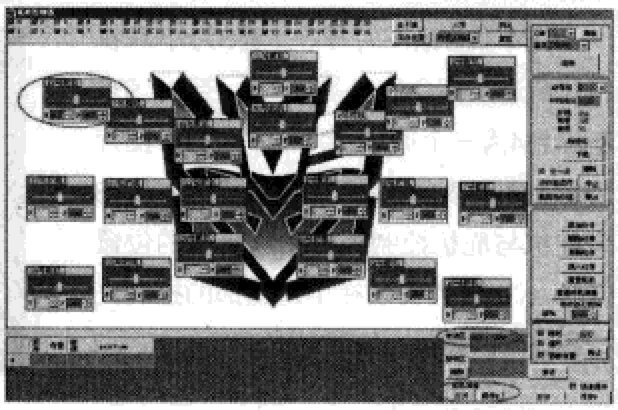
24 处理好舵机电缆和舵盘的安装问题，就可以给小六合上上盖了。注意上盖只有4个固定螺丝，6个舵机虚轴的轴承是“悬浮”着嵌入上盖的大孔里面的。



偏差补偿

在第23步中，爱好者可能会遇到舵机和舵盘的配合出现误差的问题——个别关节的舵机装在舵盘上以后，总会和其他关节差一个角度。这是一个令人抓狂的问题，来回调整，要么就多了，要么就少了，总是找不到合适的位置。不要小看这个问题，它对机器人的影响非常大，会出现姿态失衡、重心不稳、执行误差等一系列后果，最简单的例子就是走不直。

这里有两个解决方法：第一个方法是把舵盘转一个角度（90°、-90°、180°），微调一下舵盘花键（就是安装舵机输出轴的那个带很多齿的孔）的位置，这是一个机械式的调整方法，多少有点靠运气，不过通常都能得到不错的结果。第二个方法是采取电子补偿的方式——利用舵机控制板自带的偏差补偿功能，但是这个功能不是所有的舵机控制板都有。

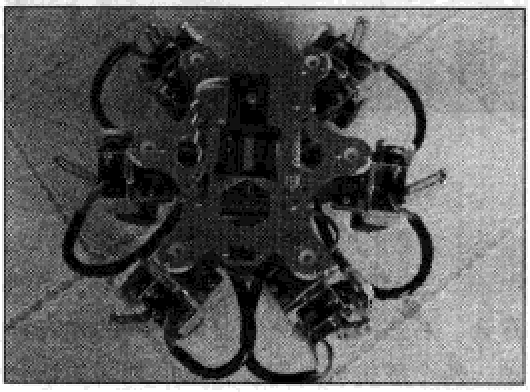


下面是对我所使用的舵机控制板的偏差补偿功能的说明。

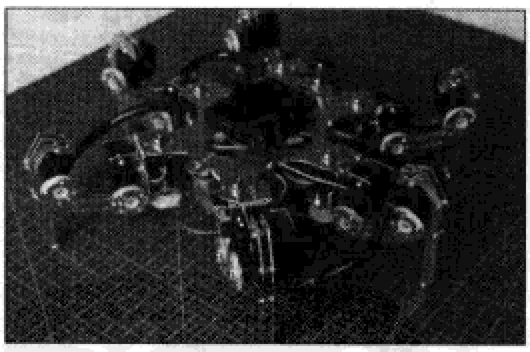
大家可能都已经知道，脉宽为1500μs的脉冲可以控制舵机回复到中点位置，我们用数字P表示。假设右图中的第18号舵机（右图中左上角对应小六的左侧前小腿的舵机）存在一个装配误差，造成这个小腿关节无法装配到初始状态，总是和其他腿差一个角度。在软件中引入一个偏差校正B，B的数值为100，舵机最后执行的角度是P+B的绝对值|P+B|，见图右下角发送区，第18号舵机经过校正以后发送的脉冲变成了1600μs。

软件里还提供了舵机偏差的保存和读取功能，可以针对特定结构的机器人（特定的关节、甚至特定的某几只舵机）保存偏差数据。依照上述的例子，只要调出舵机偏差，第18号舵机在执行任何一个动作组的时候，它接收到的脉冲都是经过修正的|P+B|。

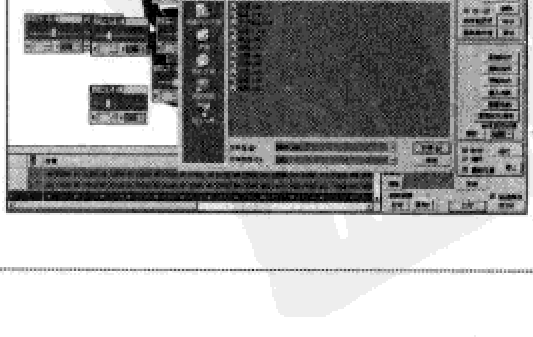
25 下图所示是装配好的小六底盘，可以看到安装好的降压二极管（整流桥）。



27 下载完程序后，就可以把小六底部的小开关切换到以PS2手柄控制的位置，控制它在房间里巡视一番了。



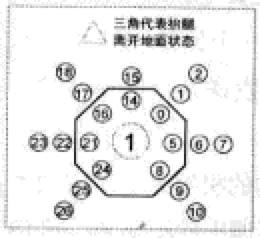
26 接下来是下载小六的动作组。舵机控制板配套的软件里面已经提供了一些常用动作组，可以直接使用，也可以在此基础上开发出更加个性化的动作。小六的姿态还是蛮多的，比如效果超炫的“波浪腿”。



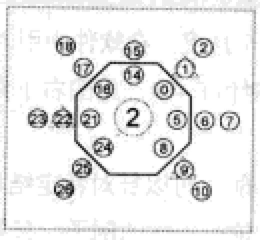
动作组

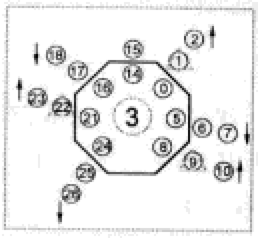
我们已经有了一块舵机控制板和18个舵机，怎么控制小六执行“前进”的动作呢？这需要舵机控制板按一定时序控制18个舵机的动作，带动小六的关节活动，推动机器人前进。一个动作显然是不够的，所以就有了动作组的概念。

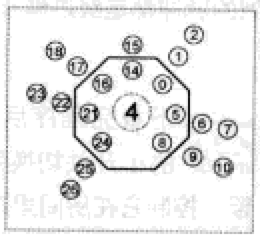
在下面9幅图片里，1至3为小六执行“前进”指令的准备状态，4至9，9重新回到4为一个循环，并依次执行。图片为俯视图，表示了小六的6条腿上面的18个舵机与舵机控制板的物理接口的位置（14、15号为安装在小六头部的控制夹持器的两只舵机，见下文）。

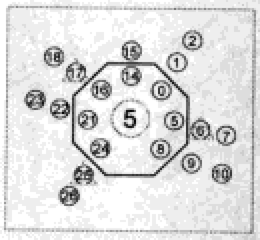


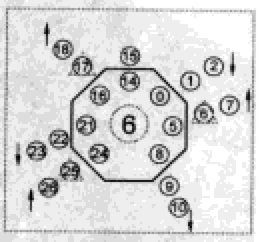
初始状态

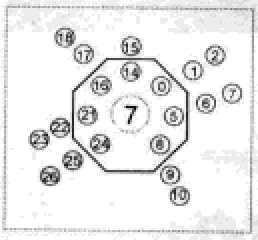

抬右腿

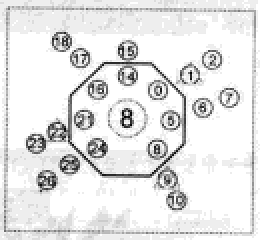

前进

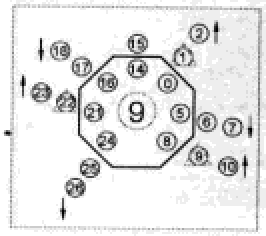

放下腿


抬左腿


初始状态


初始状态

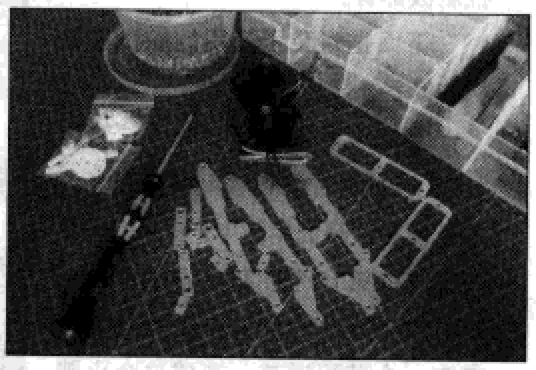

前进


前进

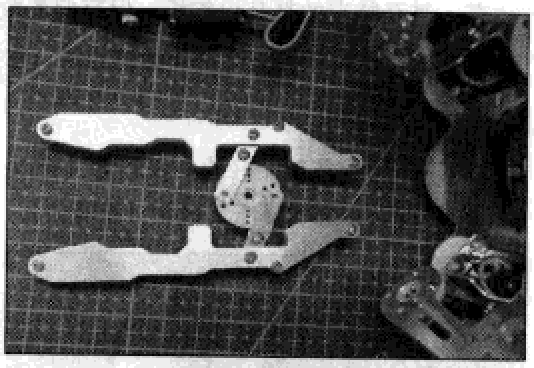
武装升级——夹持器

如果觉得装了18个舵机的基础版小六行动起来还不够酷，那么就再给它加上一点“武器”吧！下面是安装夹持器的过程。如果以术语来说，通常把安装在机器人上的手臂、夹持器统称为“末端执行器”，这类机构的复杂程度不亚于机器人的主体结构。

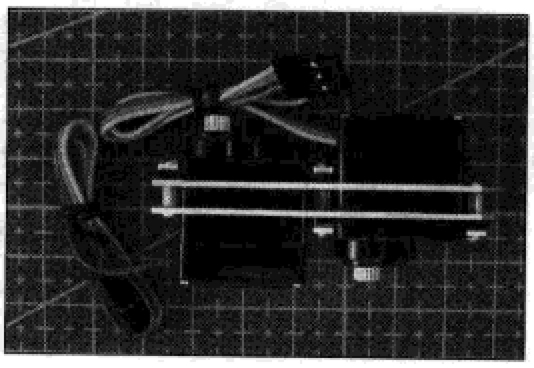
1 下图是用来组装夹持器的零件。和主体结构一样，也采取双层加强的方式。



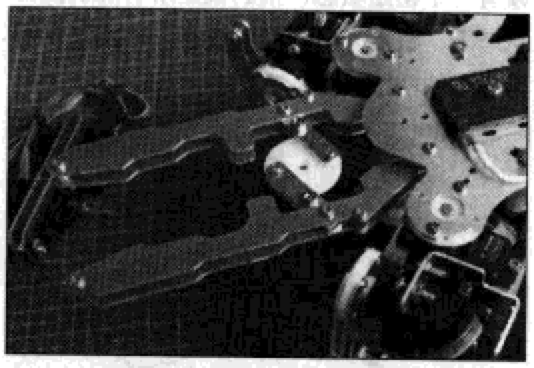
2 组装“夹子”部分，不要小看这么一个结构，上面的零件一共是41个！这还没算上驱动它的两个舵机。



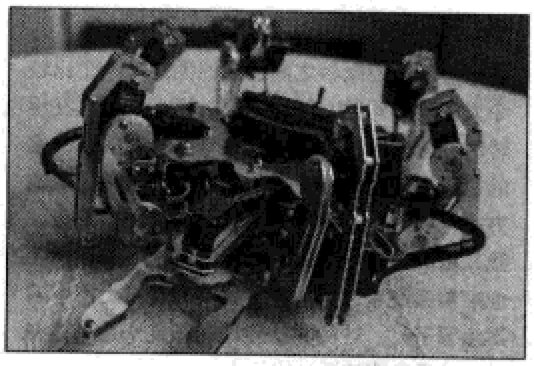
3 这是夹持器的驱动机构，两个舵机上下交错安装。左侧的舵机控制夹子的开合，右边的控制夹子整体结构的左右移动。两个舵机也是安装在双层加强的铝合金结构件上。猜猜这个结构一共有多少个零件？答案是17个。



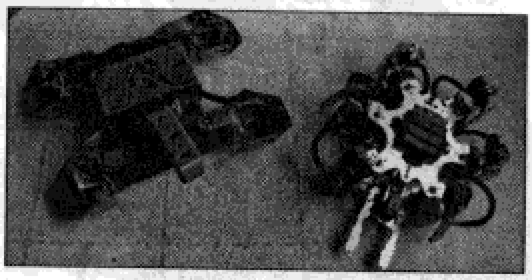
4 将夹子安装在底盘上，图中为夹子的初始状态。使用时可以通过PS2手柄控制它的开合和左右移动。



5 安装好两只驱动电机，合上上盖以后，小六就“武装到牙齿”了。



6 最后这张照片是我制作的机器乌龟和小六的合影。机器乌龟使用的是9个38g标准舵机，小六使用的是20个9g迷你舵机，大家对照图片，可以对这两个级别的机器人有个大致印象。



业余爱好可以走多远？我的答案是“千万别急着下定论”！

创新DB1

◇杜洋

自从我的《爱上单片机》一书问世以来，“爱上”一词就在电子制作的圈子里小火了一把。随后又出现了《爱上制作》、《爱上Arduino》，还有一大堆类似名字的出版物。虽然每一本的内容都很精彩，但总这么爱来爱去的，是不是有点审美疲劳呢？本来这篇文章是想取名《爱上DB1》的，可是再这样爱下去，大家都要变成花心大萝卜了，所以我必须在取名上有所创新。既然要创新，干脆就叫《创新DB1》好了。没错，“D”、“B”、“1”，就是两个字母和一个数字的正常发音，是不是要比Arduino这个名字好记多了？

为什么要提Arduino呢？有人把Arduino叫做电子积木，我今天要介绍给大家的新朋友也是电子积木，叫DB1。

电子DIY载体现状

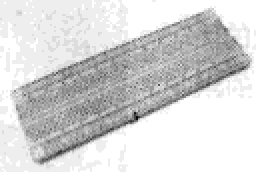
每一位电子爱好者都有一段不同寻常的经历，我们聪明、热情、对世界充满好奇。不论是音响还是电视机，我们总想拆开看看，弄个明白。虽然有时会遭到家长的阻挠，但这并不能阻止我们对电子DIY的热爱。在我们心中始终有一个梦想，那就是制作出各种电子小作品，让我们的生活变得更方便、更智能。为此我们学习电子制作方法和单片机技术，学习电路设计和程序开发，就是为了终有一天可以开发出属于我们自己的作品。那我们要怎样开发和制作呢？目前有以下几种载体的选择：开发板、面包板、洞洞板、自制PCB和Arduino。

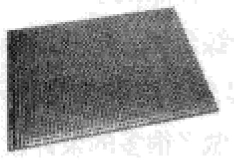
先来说说开发板。大家都很清楚，许多单片机爱好者都是通过开发板入门的（通过《爱上单片机》入门的读者除外）。开发板又叫学习板、实验板，就是把单片机和许多功能电路制作在一块PCB上，用于初学者的学习实践。开发板上的元器件都是焊接好的，学习者只能硬性的记忆电路原理图，不能对电路进行修改和创新。这样的学习也只能学到一部分的知识和经验。而且开发板上的大部分元器件是固定的，一旦实验完成后就要被闲置在一边了。所以我个人不推荐初学者用开发板入门，我们需要更灵活可变的学习平台。

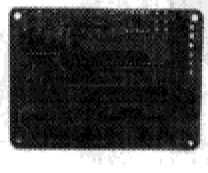
面包板是一个好的平台，它可以将元器件直接插在上面，简单、快捷。通过它来学习单片机，既可以了解单片机的电路原理，又可以自己设计前所未有的电路，尝试创新，这对学习是非常有利的。我正是看到了面包板的这一优势，才在《爱上单片机》一书中采用了这样的学习方法。从读者的意见反馈上看，这个方法是方便有效的。只可惜面包板的体积比较大，还仅能用直插元器件。一般情况下，仅一块40脚单片机就占据了较大的空间，更别说还要接一些外围电路和模块。看来面包板是实验的好工具，但不能用它来直接制作成品。

那成品要用什么制作呢？目前我们有洞洞板和自制PCB两种选择。洞洞板又叫万能实验板，是在一片PCB上呈阵列形式地放置着许多孔洞和焊盘。其实也就是对面包板结构的一种继承。洞洞板因为自身是PCB材质，因此坚固耐用。但制作比较复杂，不仅要焊接元器件，还要连接繁多的飞线。我曾研发过一款LEAF系列叶式结构洞洞板，就是把洞洞板的焊盘做得

开发板


面包板


洞洞板


PCB

Arduino

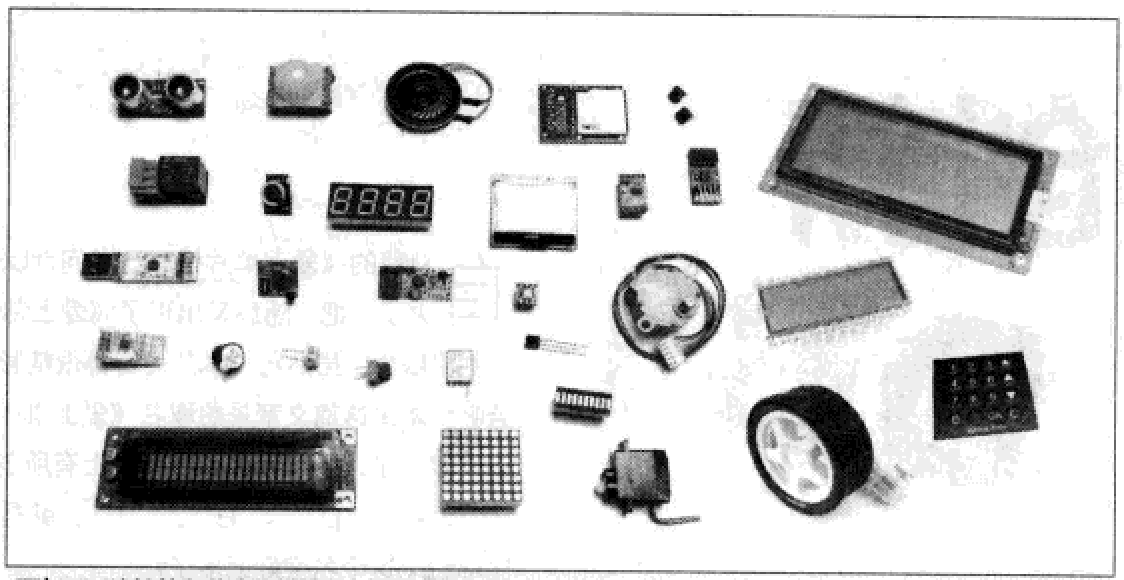
像叶子一样，可以很方便地在焊盘之间走线。虽然可提高效率，但总体上看还是很麻烦的。而且动手焊接还有一定的危险，不适合爱好者的入门。

这么看来，自制PCB应该是不错的选择。一些爱好者会花钱找工厂定做PCB，一次下来至少也要200元。万一做错了，又要花同样的价钱重新制作。所以不少大学生都会选择土法自制PCB，最常见的方法是热转印法。但工序很复杂，需要设计、打印、切板、打磨、转印、配剂、腐蚀、清洗、钻孔、盖油、测试、焊接等工序，既耗时又费力。

Arduino是一款从国外流行到国内的单片机开发板。Arduino与其他开发板不同的是，它上面没有集成功能电路，而是留出单片机接口，通过外接功能模块、在面包板上搭建电路的方式完成制作。电路制作灵活、快速，而且相关的功能模块、也很丰富。从这个角度看来，Arduino是一款理想的开发平台，简单、快速、无用焊接、接口丰富。《无线电》杂志也发现了Arduino的方便之处，曾在前几期文章中重点介绍了Arduino的开发与应用。也许就在我这篇文章的旁边，就有一个基于Arduino的小制作呢。

Arduino虽然流行，但静下来考虑，Arduino目前的样子并不是最好的设计。据我了解，Arduino板最开始出现时的目的是为了帮助科研人员完成某一项研究任务。任务完成后，设计者就将其开源放到网上，随后就被电子爱好者直接拿来使用了。也就是说Arduino最初并不是为了电子爱好者进行广泛意义的电子DIY而开发的。所以它在设计时很少考虑、甚至没有考虑到自身的结构设计，也很少考虑到单片机接口的排列与众多现有功能模块的兼容性。这种前期设计的缺失，导致使用者在连接功能模块时只能用导线连接。

最后一点，Arduino板的价格相对较高，就算是购买国产较次质量的，也需60～100元，还不包括其他功能组件。在价格问题上，虽然Arduino是开源的，不需要支付版权费用。但是Arduino板上集成了复杂的电源稳压和下载电路，这些电路一般只有在下载程序的时候才能使用，平时是用不到的。也就是说，如果你用Arduino制作一款成品，它上面有一部分是浪费的，而你必须为此“埋单”。在笔者看来，Arduino作为免焊接的开发平台，应该尽量做到防尘、绝缘和防短路的设计。可是我们可以看到Arduino板的外观，所有元器件都裸露在外面。若有导线或金属碎屑掉在上面，很可能导致失灵甚至损坏。

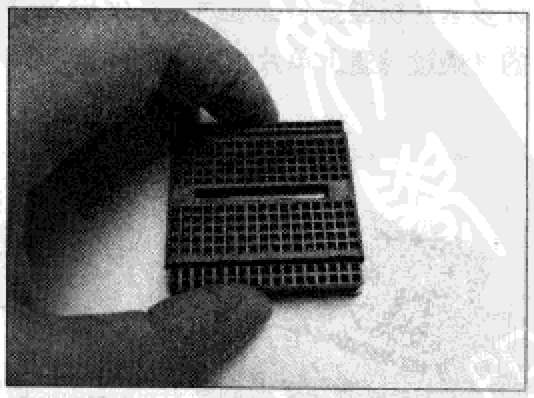

可与DB1连接的各种功能模块

综合来看，我个人觉得Arduino缺少必要的设计，可奇怪的是Arduino很少进行自我优化和改进，虽然有一些国内的Arduino开发公司曾对它进行了技术和设计上的改进，但似乎他们生怕别人以为他们的改进版不是Arduino，所以不敢有重大的创新和颠覆性的举措。同时，其他公司也没有想过建立比Arduino更好的新平台，因为那需要花时间和金钱去研发和推广，还不如拿现成的产品来销售，所以市场上一直少有与Arduino类似的新平台推出。在我看来，Arduino之所以流行，是电子爱好者们对这种电子产品原型模块化设计方式和丰富支撑资源的认可，而并非是对Arduino本身别无选择。正是因为如此，对我而言，设计新的电子制作基础开发平台的想法呼之欲出。也许是以一种无知者无畏的态度，我们在基础开发平台这个层面上大胆创新，开发出了DB1电子积木。

DB1登场

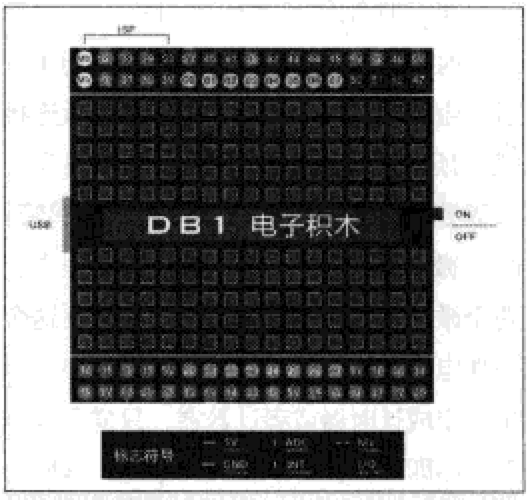
DB1电子积木是一款全新概念的单片机开发平台。你可以说它是在单片机最小系统板上加了一块面包板，也可以说它是在面包板下面隐藏了一块单片机。总之，它是一个综合体，把开发板和面包板的优势结合起来。这种结合，不是简单的组合，而是做了很多的设计。

从DB1的照片上我们可以看到，DB1的外观上没有任何裸露电路，所有元器件


DB1主模块

都隐藏在面包板的下面。单片机接口在面包板的两侧，每一侧有34个接口，通过导线可以很方便地将单片机I/O接口连到面包板上。DB1集成的是增强型51单片机，共有60KB的编程空间和44个多功能I/O接口。你可以用这些I/O接口直接驱动LED点阵屏，或者用ADC接口读取模拟数据量。除了I/O接口外，我们还引出了较多的5V、3V电源和GND，以提供外接电路的电源。我们为DB1设计了看似混乱的接口定义，其实是经过深思熟虑的。因为我们希望常用的功能模块可以省略连接线，直接插在接口上面。于是，我们找来了各种可能会插到DB1上的功能模块，研究它们的接口定义和摆放位置。有哪些模块是重要的，哪些是要同时使用的，最终确定了现在的接口定义。DB1的设计使得它有很强的设计感，外观精致小巧，没有任何元器件裸露在外，整个模块浑然一体。强大的功能可让你尽情发挥创意。

DB1的最大创新是将电路连接与结构设计融为一体，设计外观的同时也是在制作电路，这是一种概念的创新。我们在用普通面包板制作电路时，直插式单片机占据了很大的空间，还有一些不为用户所用的外围电路。这些东西虽然重要，但却是不必让用户看到的。DB1把它们都隐藏起来，留出全部的空间插接用户关注的东西。插接出来的样子就是成品的样子。下面就让我和大家一起DIY几款实用的小制作吧，一展DB1的魅力。

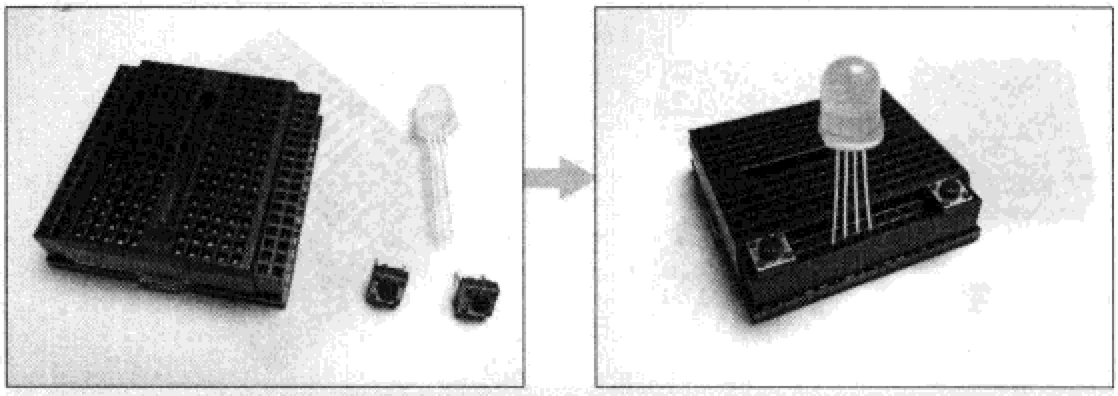


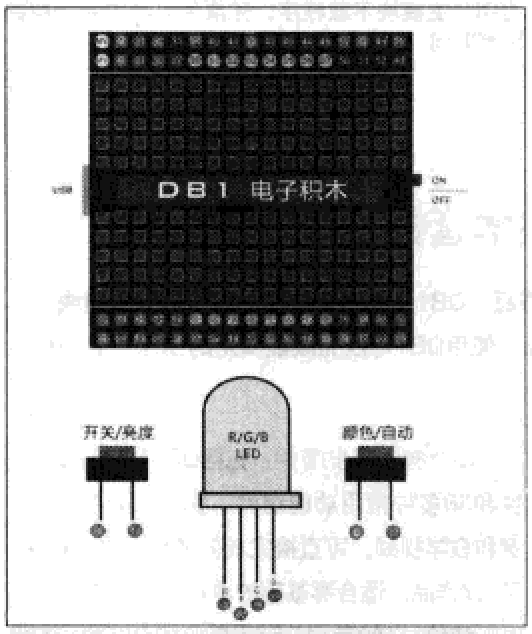
DB1接口定义图

制作1

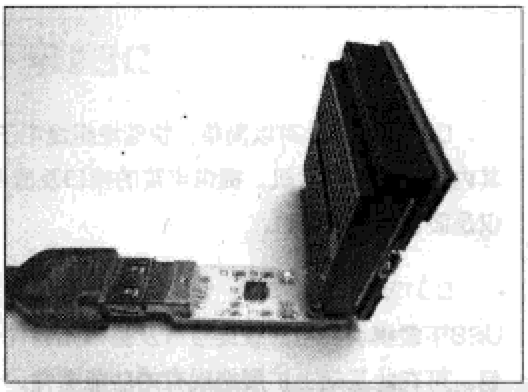
炫彩LED夜灯

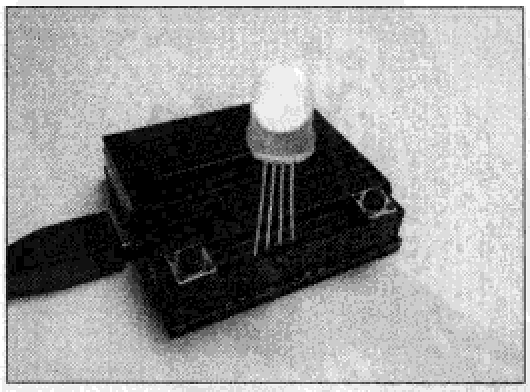
首先我们从最简单的制作开始吧。炫彩LED夜灯，就是使用两个按键控制1个彩色LED灯的亮度和颜色。你可以把它放在床头，选择适合的亮度和颜色来装点出浪漫气氛。制作所需的组件非常少：DB1主模块1个、三基色共阳LED灯1个、微动开关2个。制作过程非常非常简单，不需要导线，只要将微动开关和LED插到DB1对应的排孔即可。制作完成后，插上USB电源，按左键可开关LED灯，同时可选择3挡亮度。按右键可选择8种单色和3挡渐变色效果。可以说是制作简单、功能强大的一件作品。你可以在《无线电》官网上找到这个制作的HEX写入文件和源程序文件，把HEX文件下载到DB1主模块中就可以使用了。


只要将组件插入DB1的接口中即可完成制作



电路连接示意图


在开始制作之前，先用USB下载模块给单片机下载HEX文件

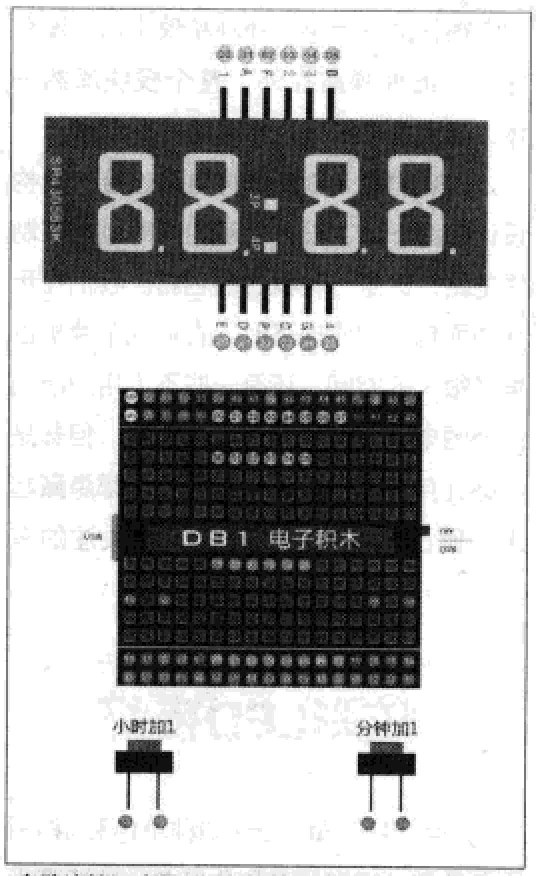

左键控制LED开关和亮度，右键选择LED灯颜色。颜色有粉、红、橙、黄、绿、青、蓝、紫、白和自动渐变色

制作2

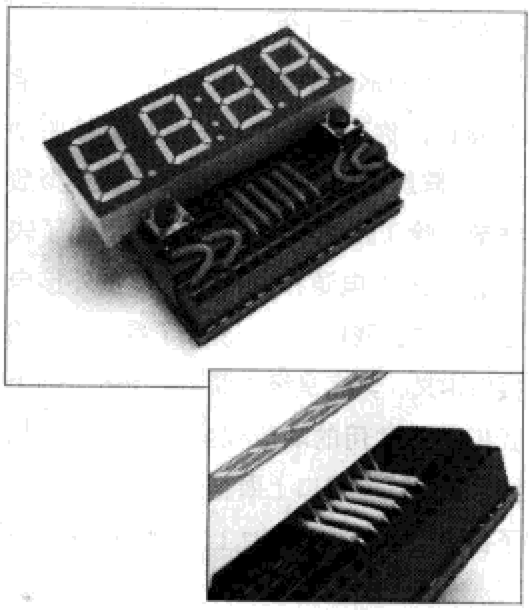
数码管时钟

第二件制作是数码管时钟，可以显示小时和分钟，不需要时钟芯片，用单片机产生时间。这回我们用到了面包板连接线，所以略微复杂。但组件依然很少，只需要DB1主模块1个、4位共阳数码管1个、微动开关2个、面包板连接线N个。两个微动开关用来设置时间。同样在这个硬件电路上，不仅可以制作时钟，还可以把它变成计时器或者计数器，只需要改一下程序即可。你可以在《无线电》官网上找到这个制作的HEX写入文件和源程序文件，这个制作的程序是开源的，并有“时钟程序”、“正计时器”、“倒计时器”等开源程序供大家参考。源程序中还有详细的注解，语句简单、易理解。你可以按你的想法修改源程序，比如加上日期显示什么的，让它变得更实用、更酷。

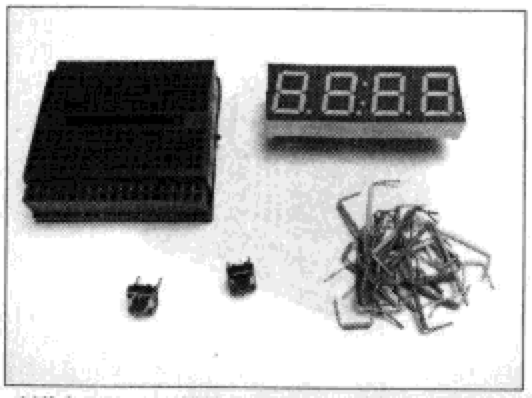
用DB1发挥更多制作创意，下篇再见喽！



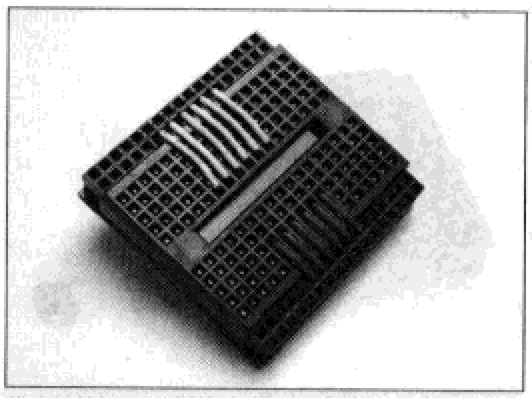
电路连接示意图



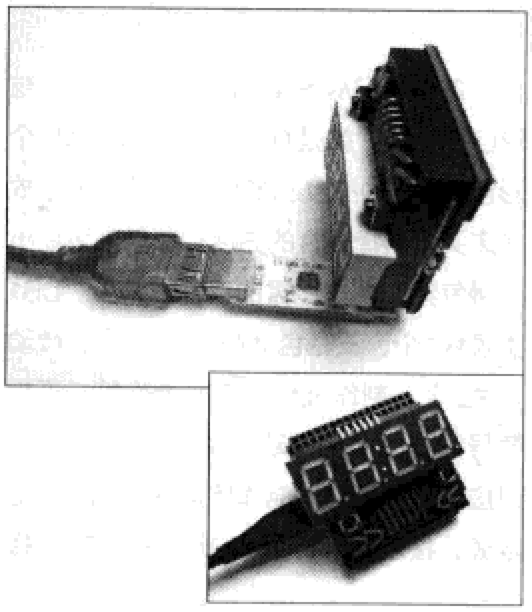
把数码管插到面包板对应位置，连接两个按键



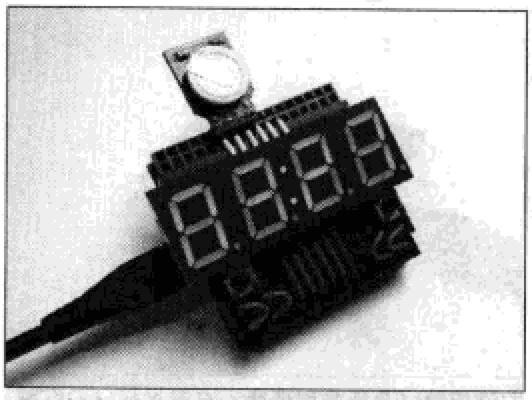
制作仅需DB1主模块、数码管、微动开关和连接线



将连接线从单片机接口引到面包板上



为DB1主模块下载程序，完成后可通过两个按键设置时间



只要插上DYS8100时钟模块，再改一下程序，就可以做出高精度的时间和温度显示时钟

DB1电子积木套件

DB1电子积木可以简单、快速地组建电子DIY成品。DB1是完全免焊接的面包板插接模块，其内置高性能单片机，提供丰富的接口及应用例程。使用DB1可以完成能实用的制作，而不仅仅是面包板上的实验。

DB1基础开发套件：包括DB1主模块、USB下载模块、电源线连接线及基础元器件包。可在此基础上扩展您现有的功能组件。适合已经购买单片机周边功能组件的朋友。

售价：78元+15元运费

DB1教学开发套件：包括DB1基础开发套件和30多种常用功能组件，提供大量制作实例和教学视频。可直接完成各种基础DB1的电子DIY作品。适合零基础的单片机爱好者。

售价：498元+15元运费

◇严泽远　官微宏

当辉光管成为开源硬件

——基于Arduino平台的辉光管显示模块设计

辉光数码管，20世纪60~80年代的产物，是电子技术发展历史的见证之一。相信有很多朋友对其了解甚少，甚至从未亲眼见过，但就是这现如今已濒临绝迹的古老器件，却有着让见过它的人都难以忘怀的独特显示效果。

时下流行的开源硬件Arduino平台，诞生才四五年时间，在国内才刚刚流行起来。让辉光管结合开源硬件平台，希望可以让它如老树新花般焕发青春。但辉光管毕竟用一件少一件，也是不争的事实，相信有些读者还没有照片中的辉光管年长，这些管子大多数是70后，其余至少也是80后（生产日期都印在管体上），希望各位玩家珍惜这份岁月的沉淀。

我们把辉光管做成显示模块的想法就由此而生。消除硬件门槛，让喜爱它的朋友都能玩得起来，把更多的精力和时间投入到创意发挥中，而不必再烦恼于如何产生驱动电压、如何控制逻辑元件、如何焊接组装，只要通过Arduino配合相应的类库就能实现制作。有一定单片机开发基础的朋友，也可以使用自己熟悉的开发平台实现辉光管相关的设计制作。硬件是高度封装模块化的，软件是开源共享的，让Arduino和辉光管来一次亲密接触吧。

辉光管简介

辉光管的全名是阴冷极辉光数码管，是真空电子时代的产物，用来发光显示数字及符号，在20世纪60~80年代得到了广泛的应用。它是利用带有一定电压的电极在惰性气体环境中，阴极产生辉光放电发光的原理进行显示的，详细的工作原理参见本刊2011年第7期《QS18-12辉光管电子时钟的设计》一文。

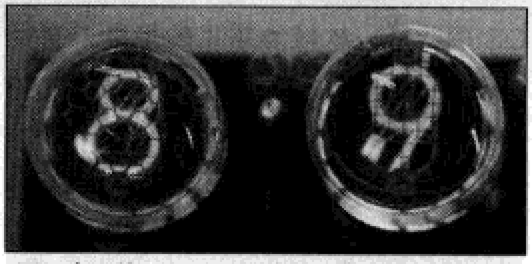


图2 南昌牌（左）和风光牌（右）QS30-1辉光管的显示效果

辉光管硬件电路有如下的特点。

❶ 需要较高的工作电压。辉光管的工作电压在DC 170V以上，在如今的低电压设备时代，要让它工作起来，需要有升压电路来产生工作电压。

❷ 工作电流较小。这是辉光放电效应的特征，辉光管的工作电流只有1~3mA左右，几乎没有什么功耗，并且不发热。

❸ 字形独特，显示具有层次感。辉光管中的数字或者符号都是由一片片特别的金属制作并堆叠而成，字形优美完整，层次感极强。

❹ 产生温暖的橘红色光芒。辉光管内部气体是氖气，辉光放电效应所产生的

表1 QS30-1辉光数码 管的具体参数（摘自原说明书）

管身高度	34mm
管身直径	30.5mm
显示高度	15mm
阅读距离	约10m
重量	15g
管座	专用13脚
阳极电压	170~280V
阳极电流	3mA
最大样机耗散功率	<0.35W
最大阳极峰值电流	15mA
推荐样机电压	170V
推荐阳极限流电阻	20kΩ
起辉电压	<150V
熄灭电压	>100V

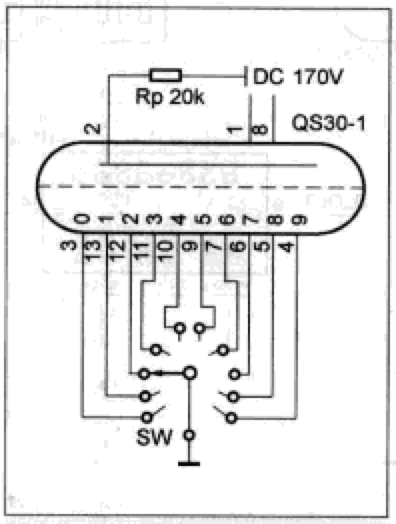


图1 QS30-1辉光数码管的引脚定义

Pin1	空脚
Pin2	阳极
Pin3	阴极 数字0
Pin4	阴极 数字9
Pin5	阴极 数字8
Pin6	阴极 数字7
Pin7	阴极 数字6
Pin8	空脚
Pin9	阴极 数字5
Pin10	阴极 数字4
Pin11	阴极 数字3
Pin12	阴极 数字2
Pin13	阴极 数字1

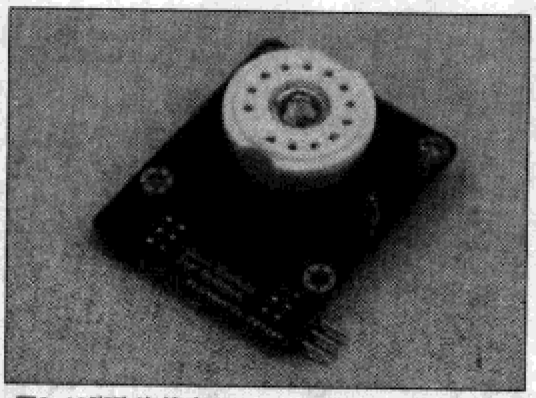


图3 13脚陶瓷管座

光芒为橘红色，尤其是在夜晚，朦胧之下给人温馨之感。

本文介绍的辉光管显示模块采用的是国产QS30-1型辉光管，其具体参数如表1所示，其他替换型号有SZ-8、SZ3-1。QS30-1是一款较为常见的型号，直径30.5mm，采用顶部显示方式、插拔式13脚封装（引脚定义见图1）。

使QS30-1辉光管正常工作的方法很简单，只需将第2脚(阳极)连接一颗20kΩ限流电阻后，接通170V直流电压，然后将任意一个阴极引脚接电源负极，阴极相对应的数字即可正常显示。

常见的QS30-1辉光管有两个品牌，分别是南昌电子管厂生产的南昌牌和上海电子管三厂生产的风光牌。区分二者的方法是：南昌牌辉光管显示面的阳极栅网是蜂窝状（见图2左侧），而风光牌辉光管的阳极栅网是方格网状（见图2右侧）。

辉光管显示模块特点

本文介绍的辉光管显示模块具有以下特点。

❶ 采用13脚陶瓷管座，如图3所示，使用寿命长，插拔方便可靠。

❷ 采用插拔式无限级联设计，无需复杂的连接方式，扩展极为方便。

❸ 板载1只RGB全彩LED，每个模块可独立控制LED背光颜色。

❹ 板载2只3mm直径氖灯，可独立控制，实现冒号、小数点或是单引号的显示。

❺ 提供非常简单的通信接口，仅需要4个I/O端口就可以实现完全控制。

❻ 采用DC 12V供电，每个模块的工作电流小于100mA。

❼ 提供DC 5V输出，可为主控板直接供电，无需另配电源。

❽ 内置测试按钮，在没有任何主控驱动的情况下，可单独测试模块和辉光管是否工作正常。

硬件结构

从电路设计上来看，该模块主要由以下部分组成（见图4）。

❶ 升压电路：主要为辉光管工作提供DC 170V电压。

❷ 线性稳压电源：为逻辑电路芯片和背光LED等提供5V工作电压。

❸ 辉光管级联控制电路：为该模块提供可级联扩展的驱动方式。

❹ 全彩LED显示器件：提供各种色彩的背景光显示。

❺ 氖灯显示器件：安装在辉光管右侧，实现冒号或小数点显示应用。

升压电路设计

当年大部分情况下，是将220V交流电整流后直接连接限流电阻来驱动辉光管显示的。如今从安全和易用角度出发，我们只采用了12V的直流电源，为此需要一个将DC 12V升压至DC 170V的升压电路来为辉光管提供工作电压。该模块所用的升压电路由MC34063A及外围器件组成，见图6左下角。

MC34063A是一款经典的DC-DC变换器控制电路，它由具有温度自动补偿功能的基准电压发生器、比较器、占空比可控的振荡器、R-S触发器和大电流输出开关等电路组成。输入电压范围为2.5~40V，输出电压可调范围为1.25~40V，最高输出电流达1.5A，工作频率最高可达100kHz。

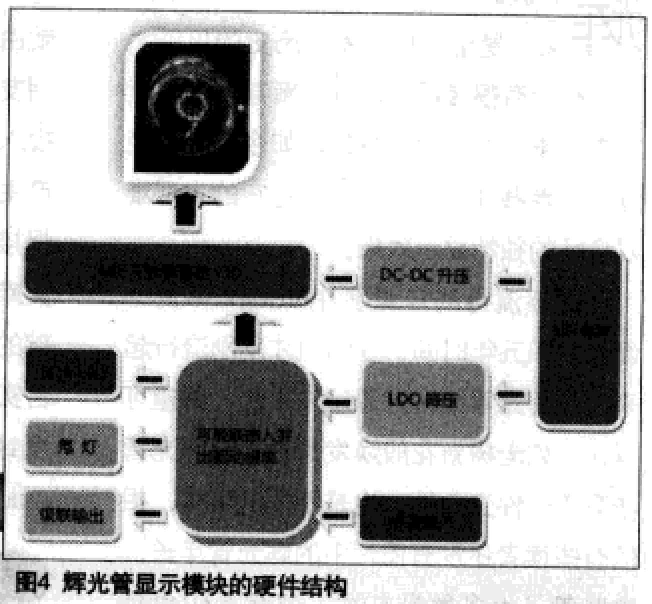


图4 辉光管显示模块的硬件结构

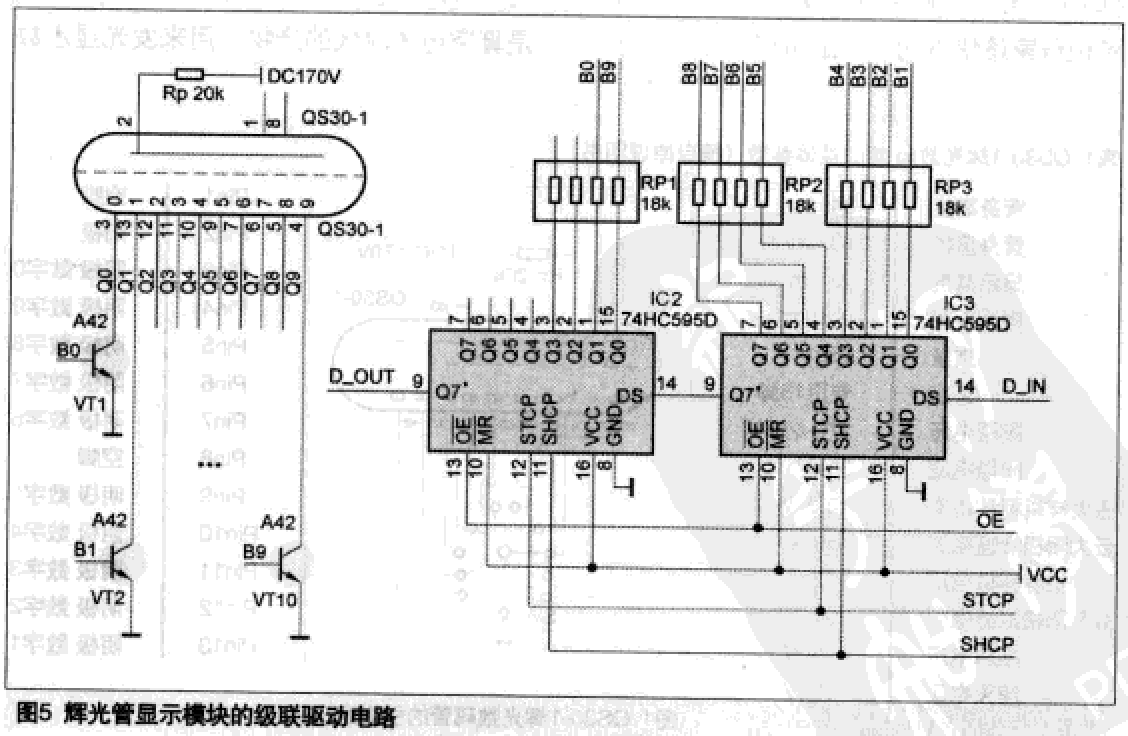


图5 辉光管显示模块的级联驱动电路

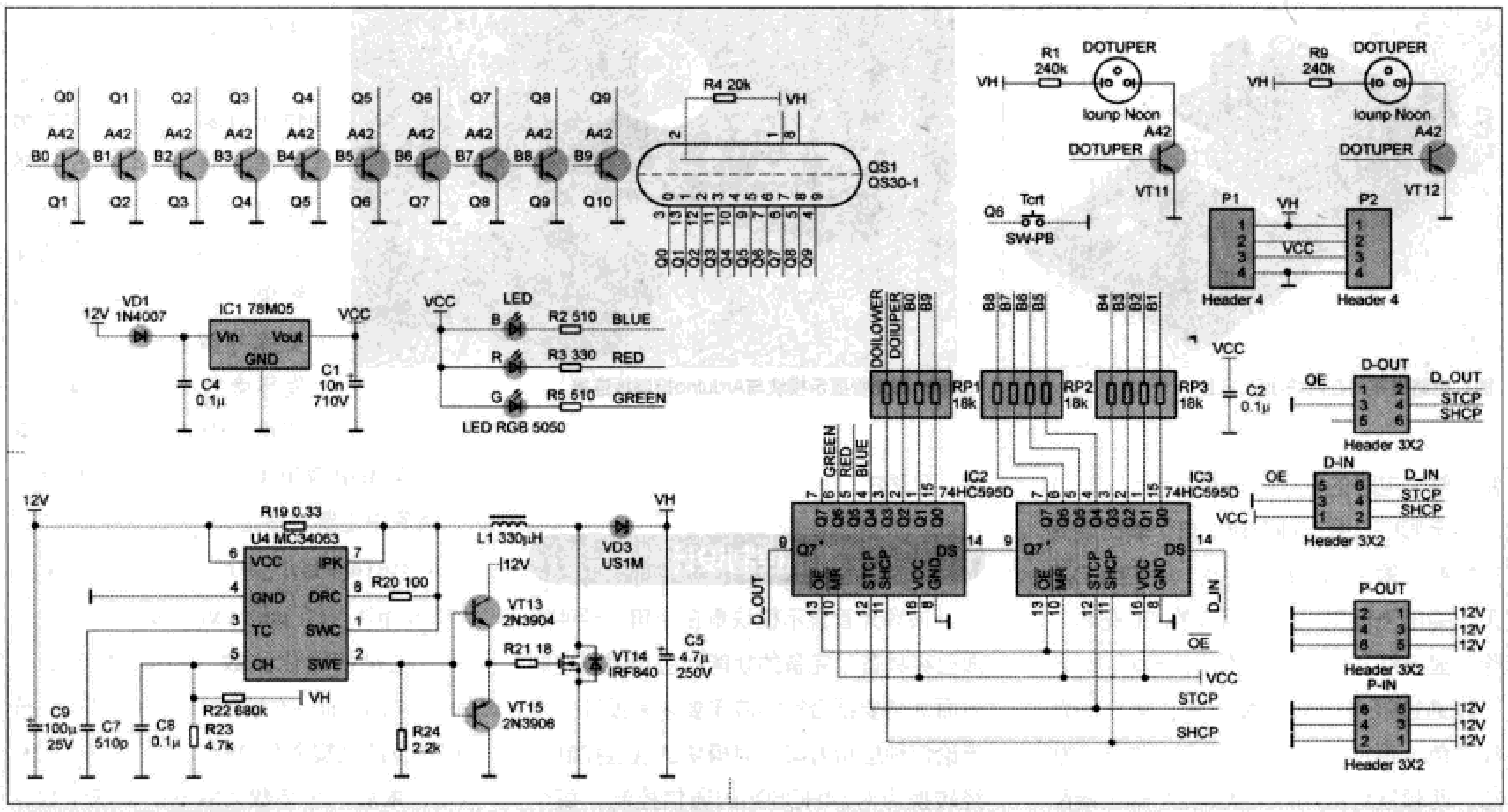


图6 辉光管显示模块的电路

由于显示模块需要的是170V电压，所以我们需要在MC34063A的输出部分外接一颗耐压在170V以上的MOS管，这里选用的是TO-220封装的IRF840，它的主要参数为Vdss＝500V，Rds<0.85Ω，Id＝8A。

同时，为了提高升压电路的工作效率，我们还使用了图腾柱输出电路（Totem Pole）。它由上下各一个三极管组成，上管为NPN，集电极接正电源，下管为PNP，集电极接地，两个基极接在一起为输入，两个发射极接在一起为输出。用同一信号来驱动两个基极，驱动信号为高电平时，NPN导通，信号为低电平时，PNP导通。利用两个三极管构成推挽输出来提高驱动能力，而且当MC34063的PWM输出端为低的时候，下管还能为MOS的结电容提供放电回路。

每个模块中都有独立的升压模块，看似是冗余设计，但这样的冗余，实现了模块内电压的“自给自足”，才使得我们的显示模块能支持灵活的扩展方式。

可级联驱动电路设计

该模块最大的特点是可级联扩展，并且只需要4个I/O端口即可完成全部级联模块的控制。在这里，模块采用了经典的可级联串入并出移位寄存器74HC595作为数据层驱动器件，并且在模块的两端引出了串入、串出接口，同时采用了10个A42三极管来驱动辉光管的每一个数字，电路设计如图5所示。

从图5上看，整个数据流向是自右向左，从右边的74HC595的DS脚输入，经过一次次的移位，高于8位的数据从第9脚输出，进入左边的74HC595，高于16位的数据则从Q7'脚输出，准备传送给下一个模块的数据输入脚。

除数据脚外，74HC595还有两个控制端STCP和SHCP。数据始终在SHCP的上升沿输入到移位寄存器中，当所有数据均输入完毕后，给STCP控制脚一个脉冲，则所有数据将在STCP的上升沿输入到存储寄存器中，每个74HC595的8个输出脚则将根据串行输入的数据输出相应的高、低电平。

$\overline{OE}$脚为74HC595的输出使能端，正常工作时$\overline{OE}$脚应为低电平，当$\overline{OE}$脚为高电平时，所有并行输出则为高阻状态。如果想要控制该模块的辉光管显示亮度，可以通过PWM控制$\overline{OE}$端，实现“无级”的亮度调整。

由于74HC595为低压器件，无法直接驱动工作电压为170V的辉光管，所以在这里还使用了10个耐压300V的三极管A42作为驱动扩展。当74HC595的输出脚为低电平时，三极管截止，辉光管对应的阴极与电源负极断开，数字熄灭，当74HC595的输出为高电平时，三极管导通，辉光管对应的阴极接地，相对应的数字亮起。

其他电路

该辉光管显示模块还内置了5V线性稳压电源电路、一颗全彩LED以及两颗氖灯，LED和氖灯也是通过74HC595来控

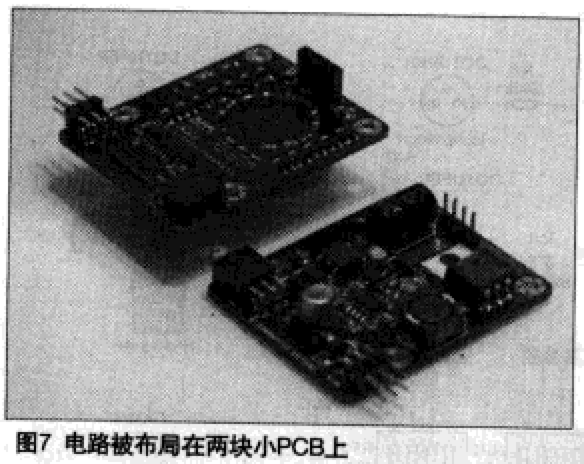


图7 电路被布局在两块小PCB上

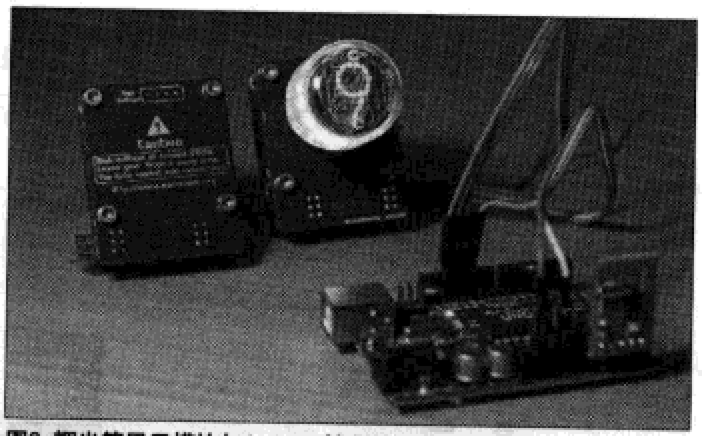


图8 辉光管显示模块与Arduino控制板连接

制，整个电路的原理图如图6所示。

全彩LED由74HC595的3个输出端直接控制，输出端为高电平时，相应LED熄灭，输出为低电平时，相应的LED亮起。除了显示红、绿、蓝三原色，全彩LED还可以通过混色，显示黄、青、紫三间色和白色，再加上关闭，一共有8种显示状态。两颗氖灯由74HC595的2个输出端配合两颗A42三极管来控制，原理与控制辉光管数字显示相同。

图6中所有器件被布局在两块小PCB上，如图7所示，两块PCB之间用插接件进行电气连接，并使用六角铜柱固定彼此。所有元器件均位于两块PCB之间，仅陶瓷管座、LED和两颗氖灯位于顶部PCB外侧，如图8所示。

在两块PCB外侧，又使用了两块激光切割的透明亚克力板作为外壳，防止人体接触PCB和焊点。

每个模块的右侧有2个6Pin排针，原理图上为D-IN和P-IN，用于连接4个控制I/O、12V电源输入以及5V电源输出，模块左侧有2个6Pin排母，原理图上为D-OUT和P-OUT，用于连接另外一个模块的排针输入端，输入端与输出端的信号、电源接口均一一对应，之间串联起来，就实现了多模块的级联。

两颗氖灯的直径为3mm，位置也经过精心设置，当模块与模块连接之后，两颗氖灯恰好位于两个辉光管之间，可用来显示小数点或冒号。并且氖灯的颜色与辉光管数字的颜色一致，相映成辉，见图8。

逻辑控制设计

该辉光管显示模块重在应用，硬件方面已经具备了完备的功能，应用逻辑控制方面则需要结合实际应用要求来设计。但无论何种应用方案，对模块的底层控制已经转换为对74HC595的通信控制。每个模块的辉光管数字0~9、全彩LED以及两颗氖灯均由两片74HC595来控制，共需要16bit(2字节)数据，与两片74HC595共16个输出端的对应关系如表2所示。根据对应关系表，可得出全彩LED、氖灯以及辉光管各种显示状态的对应数据，如表3所示。相信有了表3，有一定单片机开发基础的朋友都知道如何控制辉光管模块的显示了。

Arduino程序设计

该辉光管显示模块，不仅在硬件层面极大降低了辉光管应用的门槛，而且在软件层面，通过以上底层通信代码的封装，也同样简单易用。配合该模块，我们还开发了其在 Arduino 平台上应用的类库以及示例。

由于已对驱动电路进行了封装，显示逻辑部分就简化为对74HC595的控制。只要4条数据线，即可实现对模块的完全控制。用户只需要下载类库并解压至Arduino开发环境的libraries目录下，即可以从Arduino开发环境的菜单中调用类库并下载示例程序。

类库中主要包括定义：

```
NixieTube(pin_din, pin_st, pin_
sh, pin_oe, section_count = 1);
```

这是初始化函数，前面4个参数，对应与Arduino连接的4个引脚序号，分别对应前文提到的DS、STCP、SHCP和OE，最后一个参数为级联的模块个数，默认值设为1。如果有多个模块级联，则填入相应数字，类库内部会根据模块个数，定义足够数量的“显存”。建议把OE接在Arduino上带PWM 输出的引脚上，以实现亮度的调节。随后，我们可以通过void setBackgroundColor(index, Color)、void setNumber(index, num)、void setColon(index, colon)这3条命令，分别设置第index位（从左到右，从0开始）的背光颜色、显示数字以及氖灯的显示。

为了让设计样式更加直观，类库中设计了对应颜色和氖灯冒号显示状态的枚举类型，用户可以直接通过传入对应的显示状态名称来实现控制。我们把抽象的数值、运算也都封装在类库之中，让程序设计变得更加直观。

图9 多个辉光管显示模块级联后的显示效果

表2 16bit数据与两片74HC595的16个输出端的对应关系

数据位	15 MSB	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0 LSB
对应控制端	---	LED绿	LED 红	LED 蓝	Neon Down	Neon Up	数字0	数字9	数字8	数字7	数字6	数字5	数字4	数字3	数字2	数字1

表3 全彩LED、氖灯以及辉光管各种显示状态的对应数据表

功能定义	bit15	bit14	bit13	bit12	bit11	bit10	bit9	bit8	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
■ LED 关闭	X	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
□ LED 白色	X	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
■ LED 紫色	X	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
■ LED 青色	X	0	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
■ LED 黄色	X	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
■ LED 蓝色	X	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
■ LED 绿色	X	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
■ LED 红色	X	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
[ ] 氖灯关	X	X	X	X	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
[.] 氖灯下点	X	X	X	X	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
[˙] 氖灯上点	X	X	X	X	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
[:] 氖灯全亮	X	X	X	X	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
[ ] 数字关闭	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[0] 数字0	X	X	X	X	X	X	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[9] 数字9	X	X	X	X	X	X	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
[8] 数字8	X	X	X	X	X	X	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
[7] 数字7	X	X	X	X	X	X	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
[6] 数字6	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
[5] 数字5	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
[4] 数字4	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
[3] 数字3	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
[2] 数字2	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
[1] 数字1	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

（1：高电平，0：低电平，X：无关）

```
enum Color
{
  White, Yellow, Cyan, Green,
  Magenta, Red, Blue, Black,
};
enum Colon
{
  None, Upper, Lower, Both
};
```

如果省略index参数，直接使用void setBackgroundColor(Color color)、void setNumber(byte num)、void setColon(Colon colon)这样的形式来调用参数的话，就会对全体模块“显存”统一进行设置。

类库中还提供了printf( )函数，来进行格式化输出。printf( )函数是了解C语言的朋友一定接触过的屏幕输出函数，很容易对数字、字符进行格式化输出，包括对占用位数、前导0都进行设置，这样让显示多位数字也变得更加容易。在格式字符串中，还可以直接使用小数点、冒号、单引号3种标点来直接设置氖灯的显示状态。例如：

```
printf(“%d.%d %2d:%02d:%02d”,
month, day, hour, minute,
second);
```

最后，可以调用display( ) 函数，将“显存”发送给辉光管模块，就完成了模块的数据输出。如果OE脚连接的引脚带有PWM输出功能，那么相信通过调用void setBrightness(byte brightness = 0x40)函数就能轻松地控制整体的显示亮度。就这么简单，一句话搞定。

Arduino平台之所以强大，也得益于其开源社区提供的大量开源类库，让朋友们可以不用纠结于底层驱动，而专注于应用逻辑。而Arduino平台的核心是面向对象的C++程序的开发，由于面向对象的特性，让模块之间的配合协作也更加容易，对控制底层代码、内部变量实现了有效的“隐藏”，让程序更容易变得复杂，或者说把程序复杂起来的难度比纯C语言环境要低得多。我们的类库也同样使用“CC 姓名标示-非商业性 3.0 Unported 授权条款（CC BY-NC 3.0）”开源共享，想进一步学习Arduino类库开发或研究内部控制原理的朋友，可以看到里面所有的源代码。在nixie-tube类库代码的github托管下载页面（https://github.com/downloads/aguegu/nixie-tube/），我们也同样提供了使用51平台驱动QS30-1辉光管模块的示例代码及模块的数据手册，欢迎大家下载使用，并提出您的意见和建议。

结束语

一边是传统经典制作的辉光管，一边是现代软硬件技术所创作的开源应用平台，这古老而富有艺术气息的器件摆脱了它原始的身份，升华为一种独特的创意元素，使得我们能够尽情发挥自己的创意，迅速实现自己的想法，这也许就是创作本身带给我们的乐趣。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

用Arduino驱动触摸屏

◇毛小明

买了12864液晶屏后，总觉得少点儿什么，如果有个配套的触摸屏会更加漂亮。结果在网上搜了半天，居然买不到带触摸屏的12864模块。

我开始怀疑我的脑袋是不是不正常了，这怎么也应该是个基础需求吧？有触摸屏的话，可以省去很多按钮，面板设计也会更简洁。

量了一下，我买的12864属于低端产品，屏幕约3.2英寸。在网上又搜了一下，唯一的3.2英寸触摸屏是手机专用的，不敢冒险，直接买了一块最常见的3.4英寸4线电阻式触摸屏，是个已经粘好了玻璃的面板（见图1），同时又买了个配套的插座（见图2）。虽然大了点儿，但肯定有办法用上。

放在一起比了一下，3.4英寸的触摸屏和12864液晶屏宽度一样，但高度长出一些，很难看（见图3）。我突发灵感，何不把空白部分做成触摸屏按钮？于是立即行动，简单设计完毕，用彩色激光打印机打了一张。起初，为了追求质感，怕漏光，我用的是卡片纸，后来发现纯属画蛇添足，改用普通白纸打印，画面更细腻，整体也更平整。加上按钮后，屏幕看起来漂亮多了，包括颜色，各方面很协调（见图5）。

连接方法

屏幕与Arduino控制板的连接非常简单，触摸屏1、2、3、4脚接ANALOG IN 0、1、2、3，然后所有4个引脚各挂一个10kΩ电阻，连接到GND即可。接线图见图6，这是我第一次用Fritzin画图，不太熟练，总觉得画出来和纯粹的电路图比很可笑。不过我想这正是Arduino能迅速普及的原因——它就是个积木。

触摸屏的使用与编程

我先自己写了个类，分两行做实时动态显示。第一次上手，代码写得有些笨拙，只算是能工作了。后来，我又从网上找了个特别强大的LCD显示库——U8glib，拿来就用，效果很好。

按钮的定位方法是：点亮LCD，使其显示触摸坐标，然后随便找个手写笔，分别点下相应按钮的四角，就可以得到4个触摸坐标（见图7），然后把这些坐标设

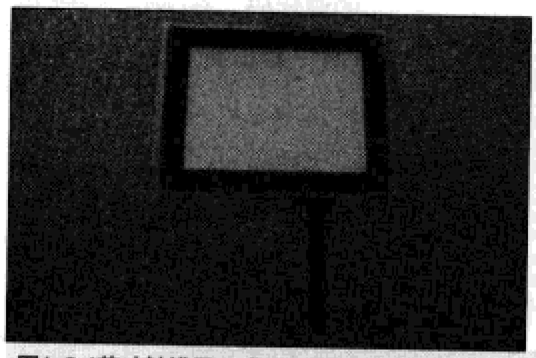


图1 3.4英寸触摸屏，成品硬屏

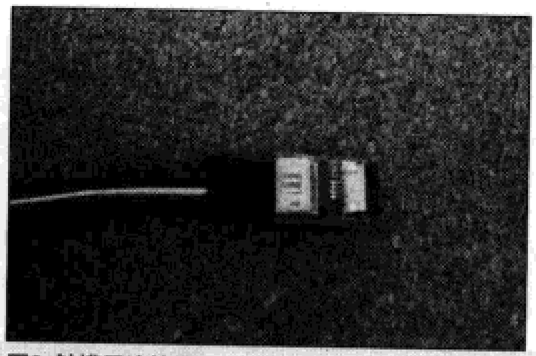


图2 触摸屏连接器

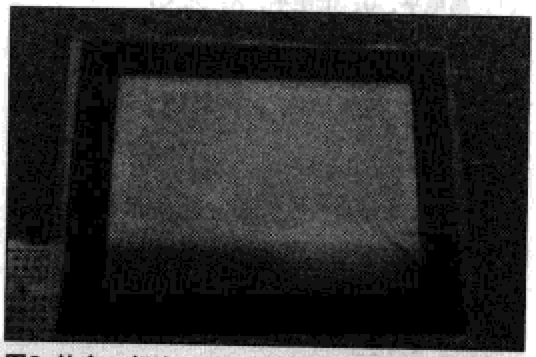


图3 放在一起比一下，触摸屏比12864液晶屏大了很多，非常难看

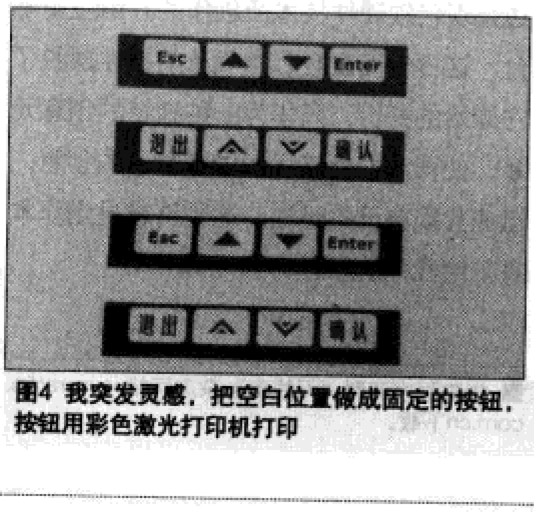


图4 我突发灵感，把空白位置做成固定的按钮，按钮用彩色激光打印机打印

图5 加上按钮后，屏幕看起来漂亮多了

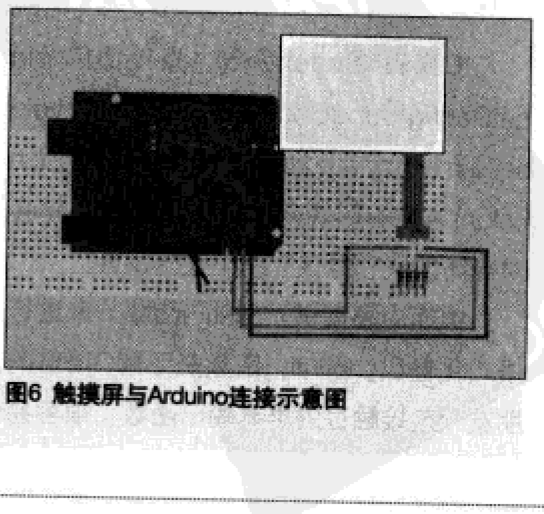


图6 触摸屏与Arduino连接示意图

置为初始化参数就可以划分按钮区域，使按钮正常工作了。

U8glib库可以从 http://code.google.com/p/u8glib/下载到最新版本。在U8glib库里，Arduino和12864是可以以多种形式通信的，U8glib兼容的12864芯片非常丰富，包括几种驱动芯片。我用的12864屏是ST7920芯片，希望以SPI形式工作，因此将相应行前面的注释去掉，改为：

```
U8GLIB_ST7920_128X64 u8g(3, 9, 8, U8G_PIN_NONE);// SPI Com: SCK = en =3, MOSI = rw = 9, CS = di = 8
```

12864和Arduino的连接关系为：

12864 ST7920	Arduino
SCK	3
EN	3
MOSI	9
RW	9
CS	8
DI	8

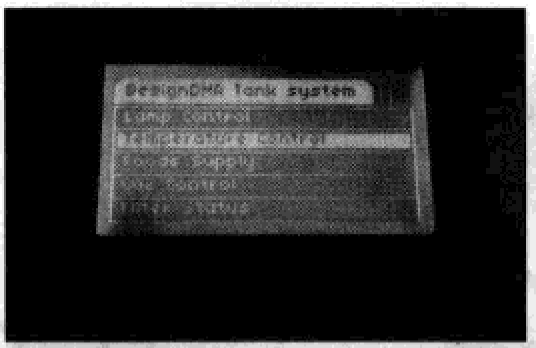


图9 改进版的3级菜单

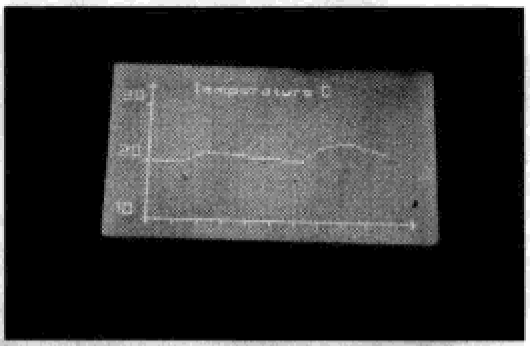


图10 温度传感器的坐标显示界面

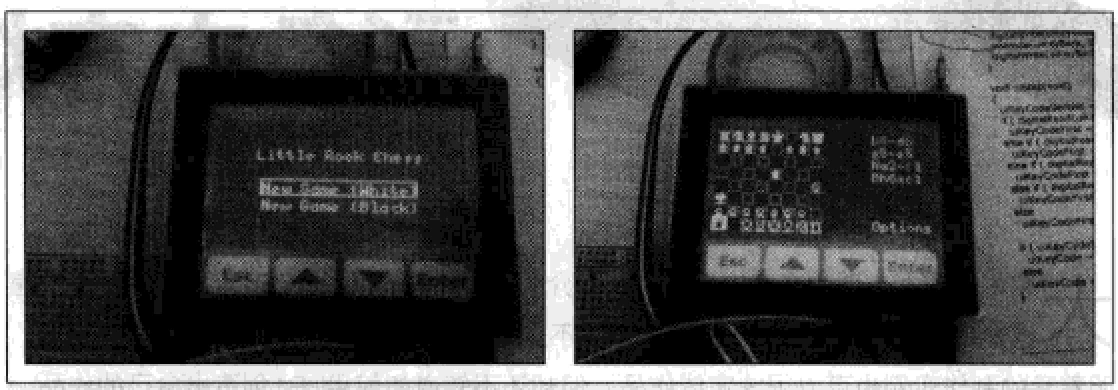


图11 U8glib自带的国际象棋的例子——Chess

运行视频：http://u.youku.com/user_show/uid_bluemaster

U8glib库居然支持我最喜欢的0408字体，简单排了下版，可以轻松显示6行字，但不支持中文，好在菜单也是自己人用，英文的也挺方便，而且内容丰富。图8所示是为办公室鱼缸做的控制器界面，右边游动的箭头就是候选项。

图7 点亮LCD，使其显示触摸坐标，可以测试出按钮区域的坐标

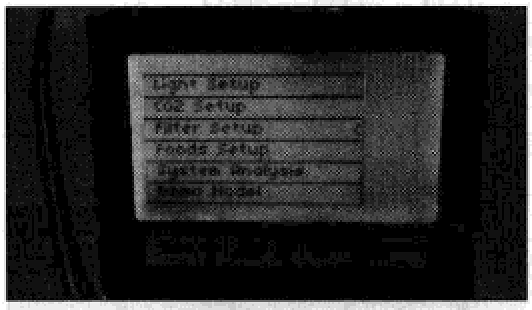


图8 第一版菜单清淡出炉

征求了一下同事意见，他们居然都认为这个太简陋，于是我决定设计一个最华丽的12864菜单模板。图9所示是多级菜单的设计，做成了华丽的文件夹式，支持多级菜单，根据我的使用需求，做成了3级深度。

最上方一行是主标题，右面显示的文件夹个数就是菜单选项的数量，每屏可以显示5行菜单，这里有15个菜单选项，所以有3个文件夹。点击下移按钮可以选择菜单，对应的菜单做反白显示，如果从第5行移到第6行，内容支持自动翻页。进入二级菜单后，主标题内容改为显示二级菜单标题内容，依旧根据菜单数量显示文件夹个数。

我还顺手做了个温度传感器的坐标显示界面，也很精致，如图10所示。

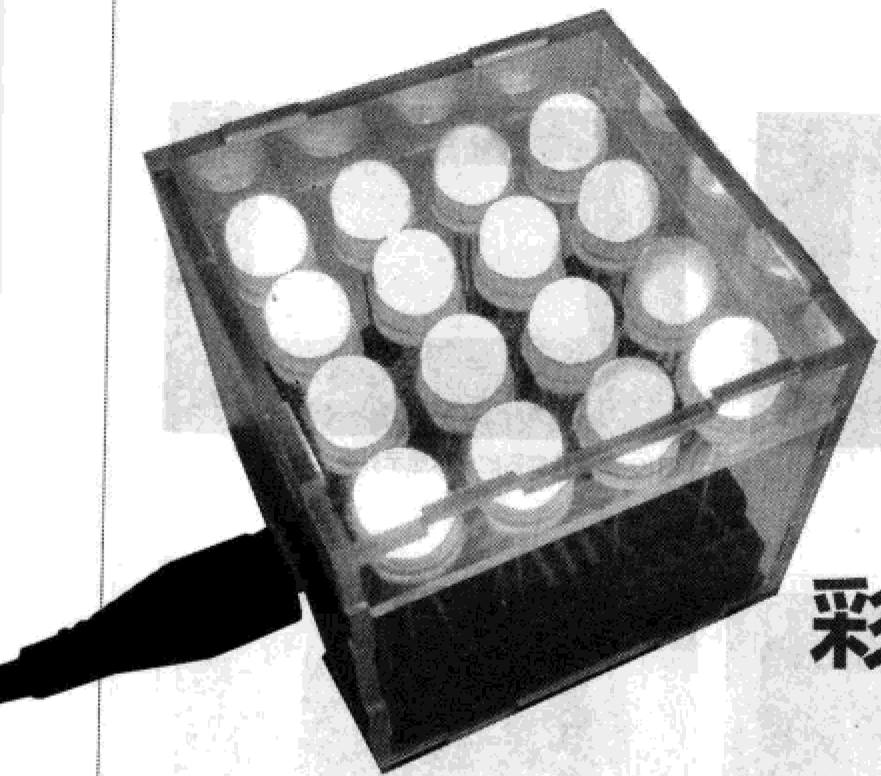
我还在U8glib自带的实例中找到了一个国际象棋的例子——Chess，很轻松就调通了，效果非常棒，如图11所示。这是个纯C程序，我数了一下程序的行数，居然接近2400行，应该是移植的。

Arduino做这类应用，资源非常丰富，而且二次开发难度不大。整个华丽版菜单用了连续两周的时间写成，而且前提是我是个绝对的新手，中间还有一周在滑雪……

用数据说话：华丽版菜单包括注释一共257行，我简单数了一下，其中配置32行，排版、初始化样式51行，触摸屏功能74行，菜单功能76行，其他24行。

由此可见，Arduino绝对可以缩短开发周期，既然可以省下来这么多时间，我们就尽情享受创作的乐趣吧！

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。



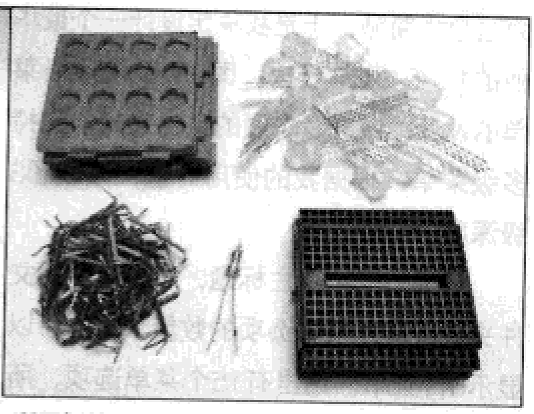
◇杜洋

基于DB1的彩色立方灯和电子骰子

大家好，在上一期的文章中，我给大家介绍了DB1电子积木。DB1可以免焊接、快速组建硬件电路。文章发表后，收到了不少朋友的反馈。他们说DB1的设计很精巧，照着我的制作实例也可以很快完成作品，但却还不知道如何用DB1创造出自己的作品。是呀，大家希望在DB1制作上有所创新，不过创新需要多看、多做、多想，在有一定经验的情况下才可能突破别人思路的限制。最好的方法就是多练习，在现有的制作上改进，日积月累，你的创意自然会来找你的。所以今天我带来两个简单实用的制作，重要的是它们在现有硬件电路基础上有很大的程序扩展空间。建议大家认真阅读这两个制作的源程序文件，试着改进程序，加入你自己的创意。还可以加入按键等组件，扩展出更多功能。对于喜欢创新的朋友来说，DB1是个很好的创新制作平台。

彩色LED立方灯

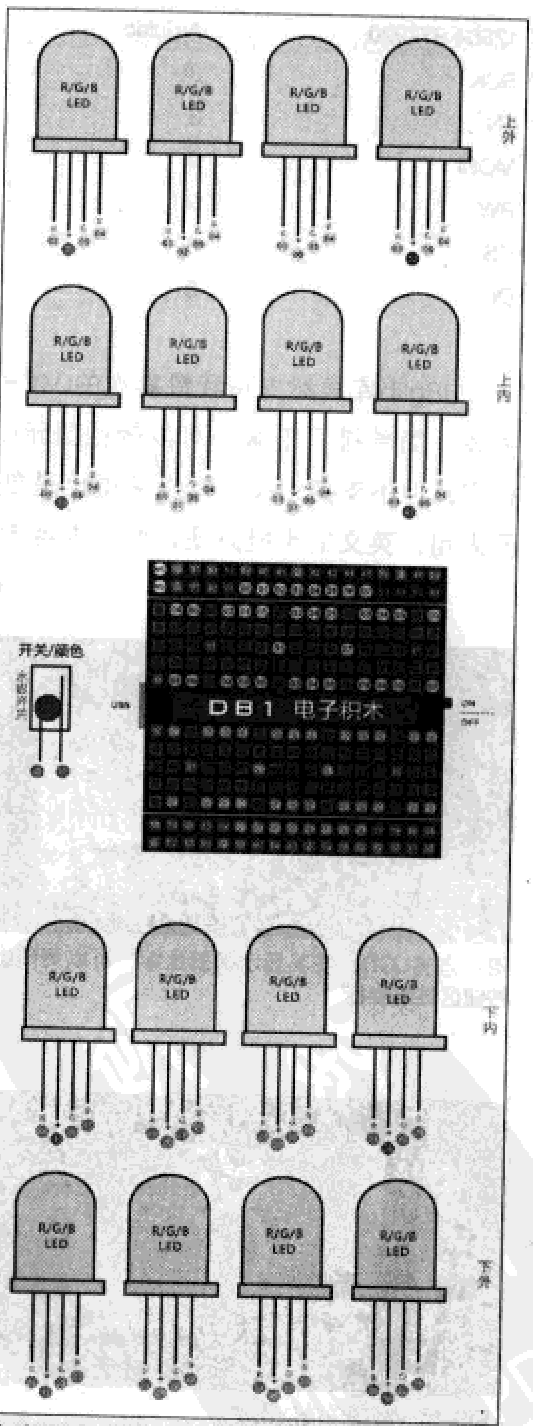
下面我们就来制作彩色LED立方灯——DB1-007。这是一款体积小巧的三基色4×4彩色光立方，好像是CUBE4的迷你版。我们为它定制了有机玻璃外壳，把DB1主模块和LED灯装在外壳里，整齐、美观。DB1-007中加入了一个水银开关，可以通过倾斜它来切换LED颜色。上电时，DB1-007为关机状态，LED灯不亮。倾斜90° 以后，再转回来时即点亮，再次倾斜可切换LED颜色。颜色顺序是粉、红、橙、黄、绿、青、蓝、紫、白、慢渐变色、快渐变色、关灯。其中渐变色是指LED会自动变色，好像北极光一样渲染出浪漫气氛。下面我们就来看一下它的制作过程吧。



所需组件

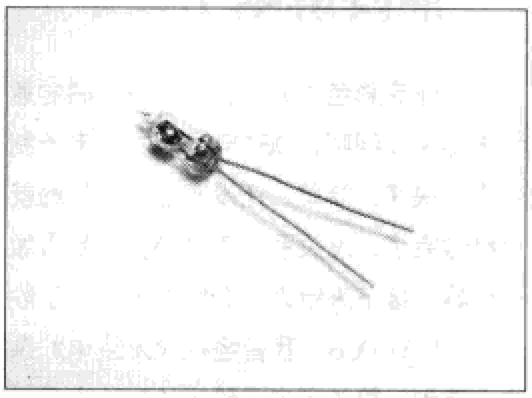
组件列表

序号	品名	数量	说明
1	DB1主模块	1个	
2	面包板线	若干	
3	水银开关	1个	
4	三基色LED灯	16个	ϕ8mm
5	有机玻璃外壳	1套	
6	Micro USB线	1条	
7	USB 电源（5V）	1个	

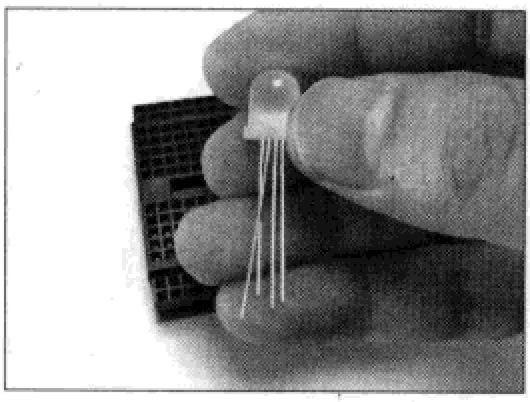


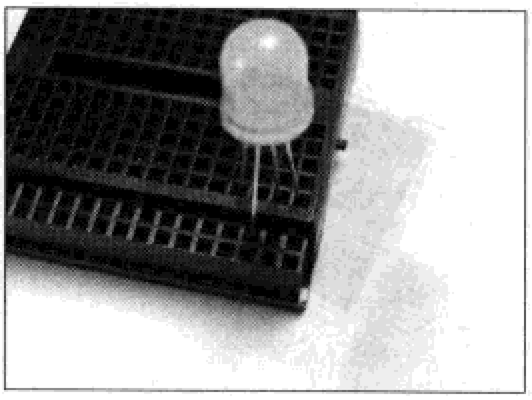
电路原理示意图

01 制作中使用水银开关作为倾斜传感器。

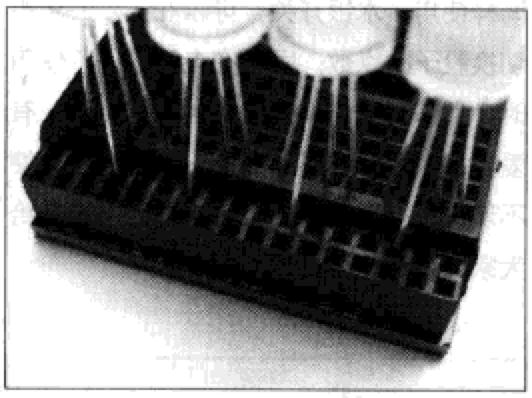


02 把三基色LED灯的共阳极向外弯曲，并按上图插在DB1主模块上。

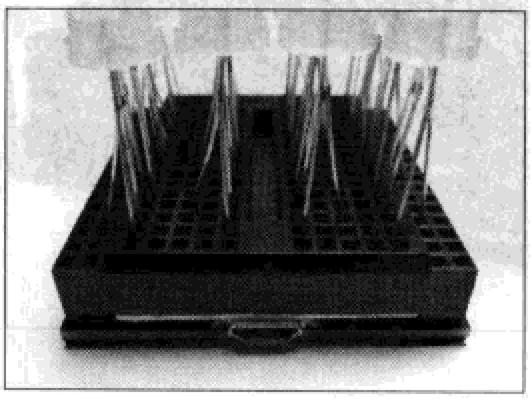




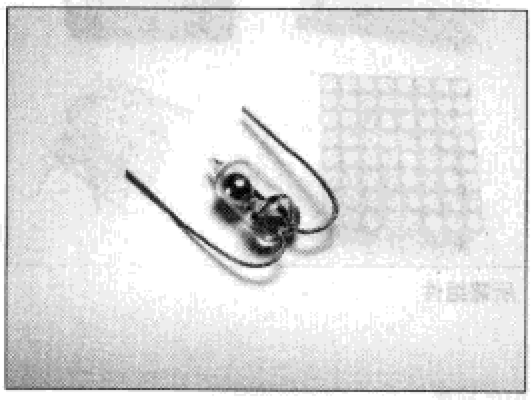
03 按此方法插入外侧的4个LED灯，再按上图插入内侧的4个LED灯。

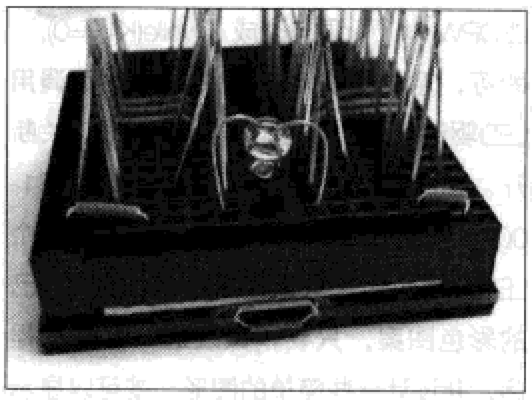


04 在DB1主模块另外一侧再插入8个LED灯。

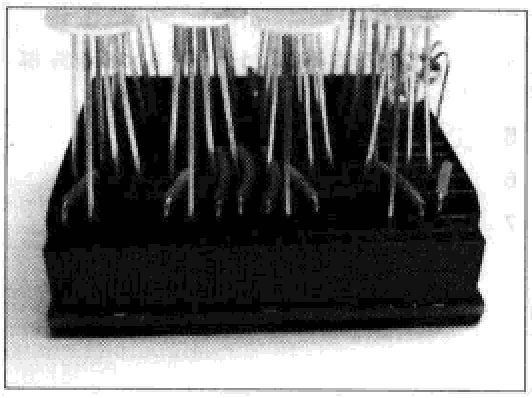


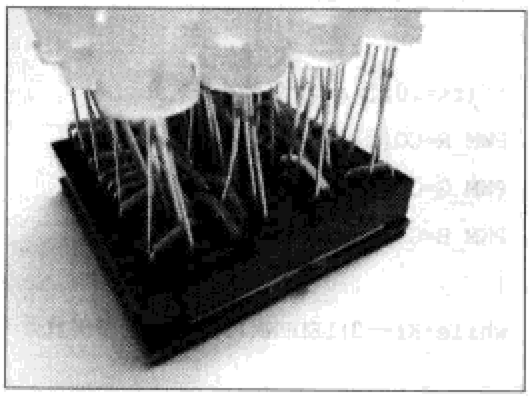
05 把水银开关的引脚弯曲成下图中的形状，插到USB接口一侧的面包板上。



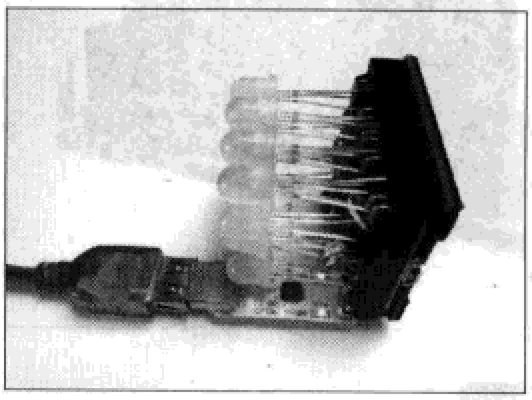


06 按“电路原理示意图”连接导线。

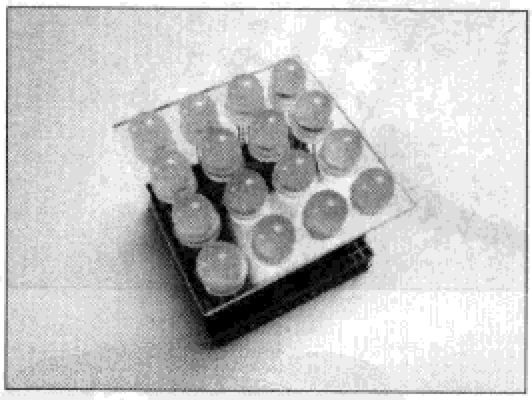


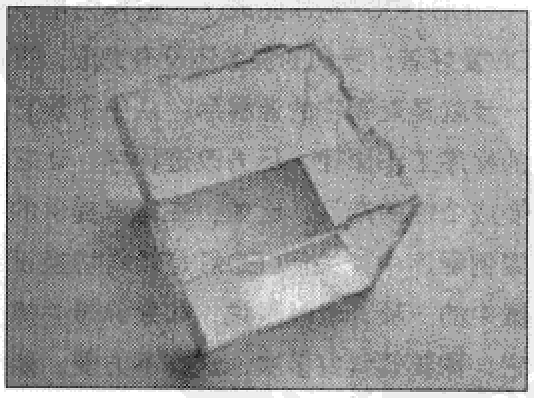


07 制作完成后，插入USB下载模块，给DB1写入DB1-007的HEX文件。

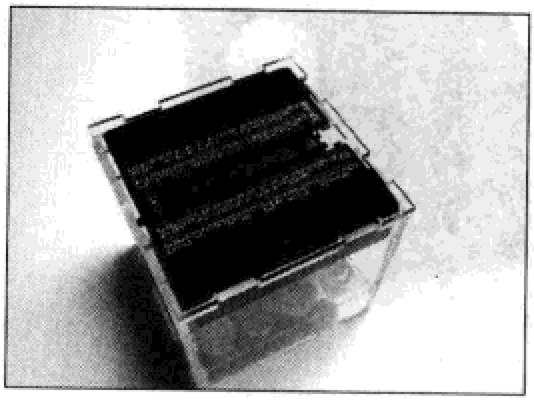


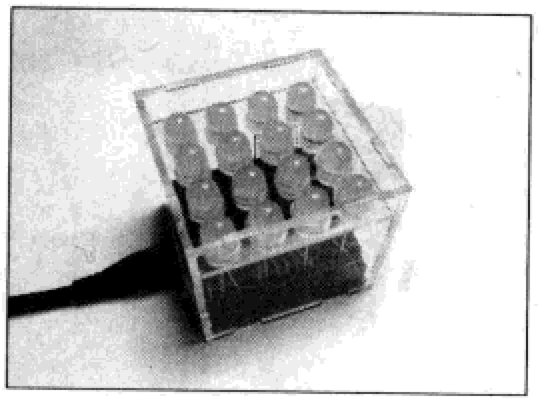
08 把有机玻璃板拼成立方体外壳，其中有一片留出孔洞的板可套在16个LED上，让LED排列整齐、美观。



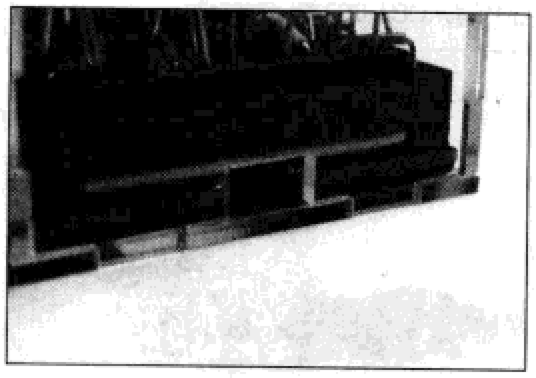


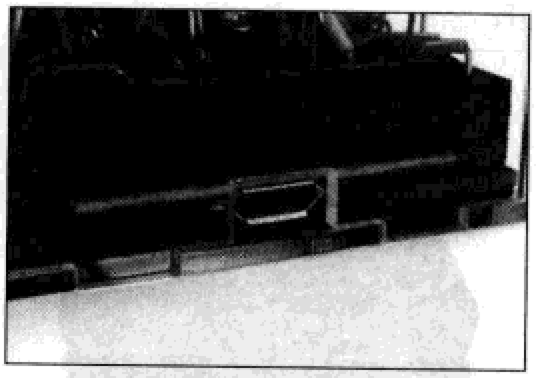
09 将DB1主模块背面的胶带粘在外壳底面上。



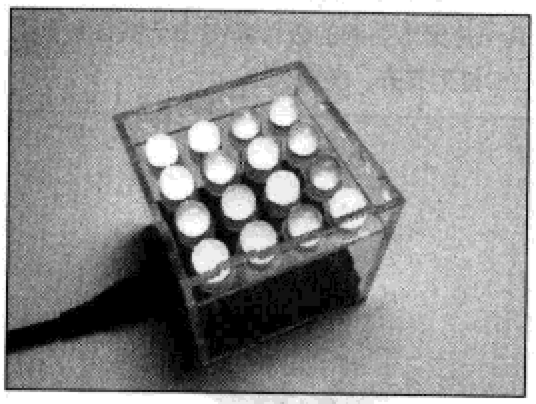


10 外壳左右各留出一个小孔，分别是电源开关和USB接口。





11 制作完成后插入USB线、接通电源即可使用。



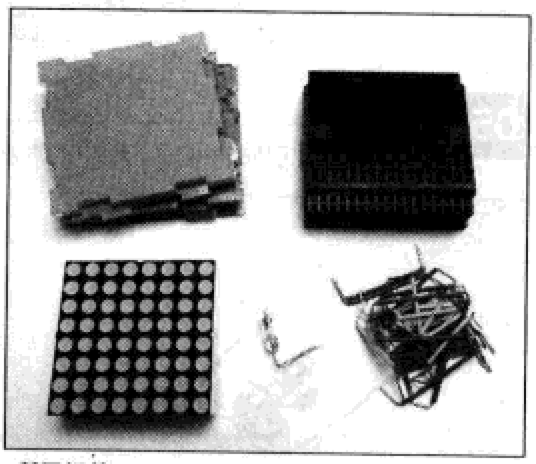
DB1-007制作完成了，但作为电子DIY爱好者，我们的任务还没有完成。下一步就是查看它的源程序，从中了解它的程序工作原理。尽力改进程序，让它变成个性的产品。比如，在笔者提供的实例程序中，关闭LED灯是倾斜切换设置中的一项。也就是说，如果你想关掉它，需要倾斜好多次，这样不方便。能不能改成当LED立方旋转180°倒放的时候关灯，再转回来的时候亮灯？这个修改很简单，只要把程序中“while(K1==0) LEDPWM(1);”语句改成“while(K1==0);”即可，意思是在水银开关通过时不调用LED驱动程序，程序一直等待水银开关断开，这样LED就关闭了。另外，以DB1-007的电路设计，是可以独立控制每一个LED灯的，这就意味着我们可以设计自己的彩色图案。只要稍微改进一下驱动程序，并设计一些简单的图形，就可以显示箭头、爱心等图形。在你机智的头脑里，DB1有着无限的可能。

需要修改的程序部分如下：

```
if(r<=10){//渐变色时不再装表
PWM_R=CO[r][0];
PWM_G=CO[r][1];
PWM_B=CO[r][2];
}
while(K1==0)LEDPWM(1);//等待按键放开
```

点阵屏电子骰子

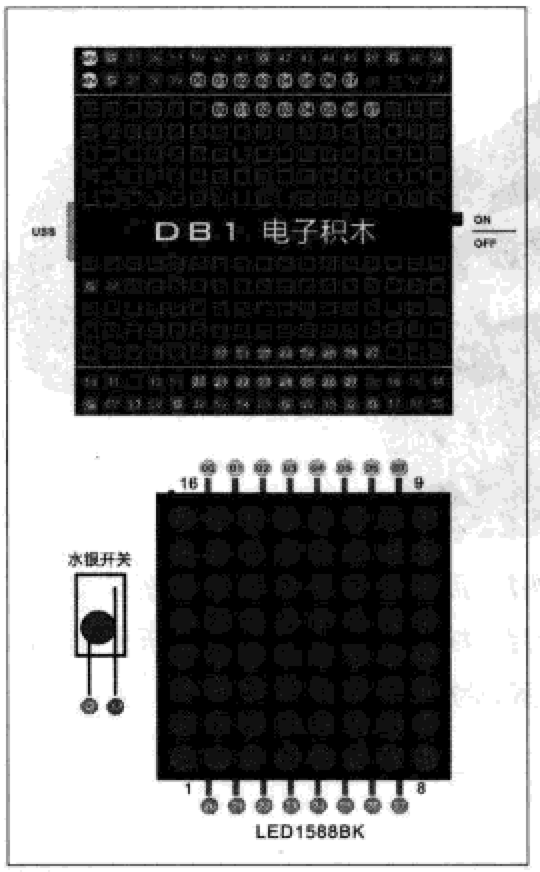
制作完彩色立方灯，你会不会感觉意犹未尽呢？呵呵，DB1电子积木让电子制作变得快速、简单。还没有过制作的瘾就已经做完了。没关系，不过瘾我们就再做一个嘛。接下来给大家介绍点阵屏电子骰子——DB1-008。我曾经在《无线电》杂志上看到一篇关于电子骰子的制作文章，感觉很有趣，于是使用DB1制作了一个功能更多、更有趣的电子骰子。这款电子骰子使用了8×8LED点阵屏显示骰子点数，同样使用了水银开关，可以在摇晃时随机切换骰子的点数。同时在电子骰子不使用时，点阵屏会切换显示各种趣味图形，有爱心、太极、酒杯、箭头、音符等。即使不玩，摆在那里也是个小装饰。下面就给大家介绍DB1-008的制作方法。



所需组件

组件列表

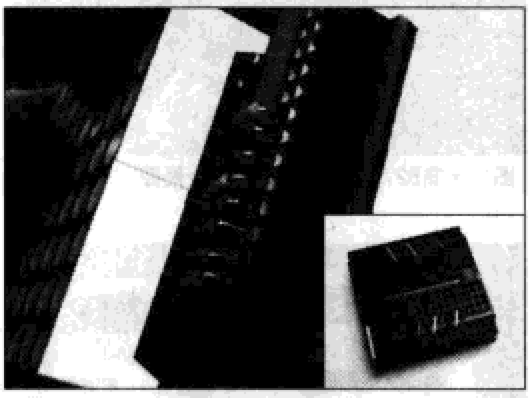
序号	品名	数量	说明
1	DB1主模块	1个	
2	面包板线	若干	
3	水银开关	1个	
4	15088型点阵屏	1个	8×8点阵屏模块
5	有机玻璃外壳	1套	
6	Micro USB线	1条	
7	USB电源（5V）	1个	



电路原理示意图

01

按上图插好导线，将导线倾斜插接是为了不挡住点阵屏的插入孔。在制作前最好先拿点阵屏和DB1主模块插接一下，观察它们的结构。

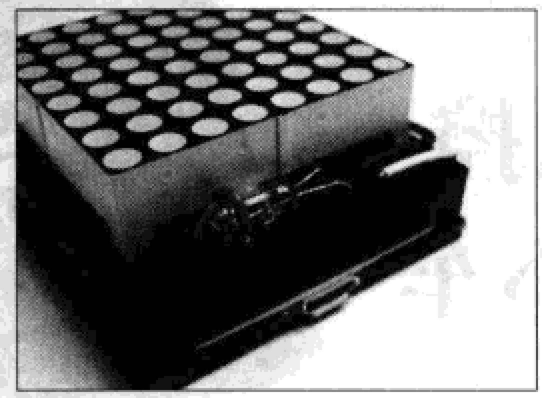


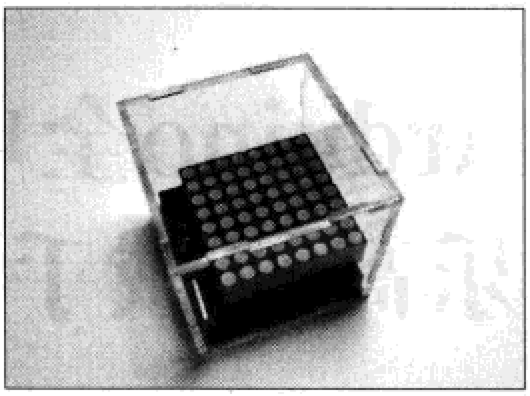
02

把点阵屏靠DB1主模块的右侧插入，注意点阵屏有字的一边朝下。

03

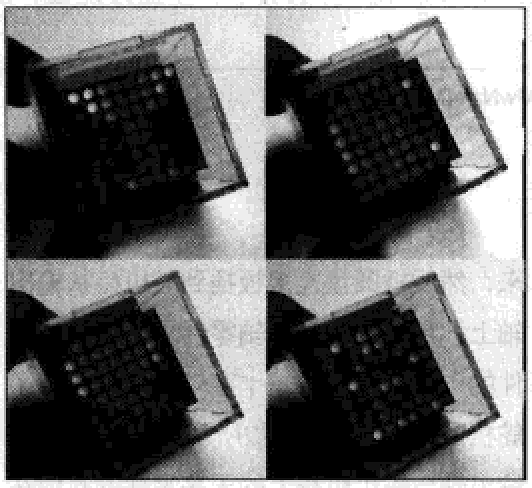
把水银开关插在DB1主模块的左边、用导线把水银开关固定，防止摇晃时掉落。下载程序后，把制作好的电路装入有机玻璃外壳中，制作就完成了。





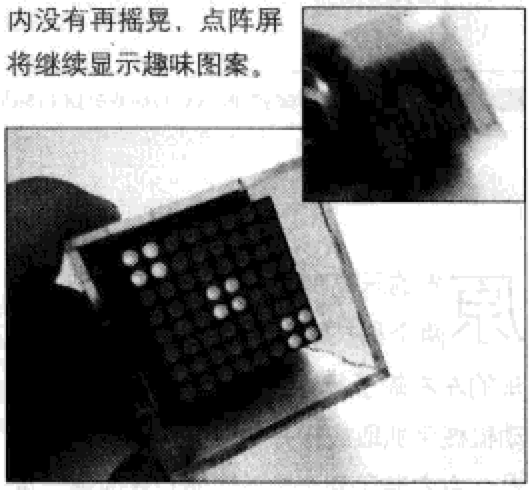
04

接通电源，点阵屏上切换显示各种趣味图案。



05

轻轻摇晃，点阵屏上显示骰子的点数。停下后显示最终的点数。当点数显示3s内没有再摇晃，点阵屏将继续显示趣味图案。



完成以上两个制作，大家应该过了一把制作的瘾了吧。其实制作只是一个开始，改进程序才是关键。这两款制作的硬件都是用水银开关作为输入，LED显示作为输出。在这个硬件基础上我们有很大的编程空间，可以改变程序实现各种有趣的应用，就好像智能手机上的各种应用软件一样。其实DB1-007上有16个三基色LED灯，而且我上文说过它可以单点控制。所以我们可以用DB1-007的电路设计出电子骰子，而且还是彩色的。今后的文章中，我将继续介绍更多更好玩的DB1小制作。开心玩乐的同时，提高大家的创新思维水平和编程水平。

套件销售

DB1是完全免焊接的面包板插接模块，内置高性能单片机，提供丰富的接口及应用例程。使用DB1可以真正完成实用的制作，而不仅仅是面包板上的实验。

DB1基础开发套件：**包括DB1主模块、USB下载模块、电源线连接线及基础元器件包。可在此基础上扩展您现有的功能组件。适合已经购买单片机周边功能组件的朋友。**

售价：78元/套+运费（15元）

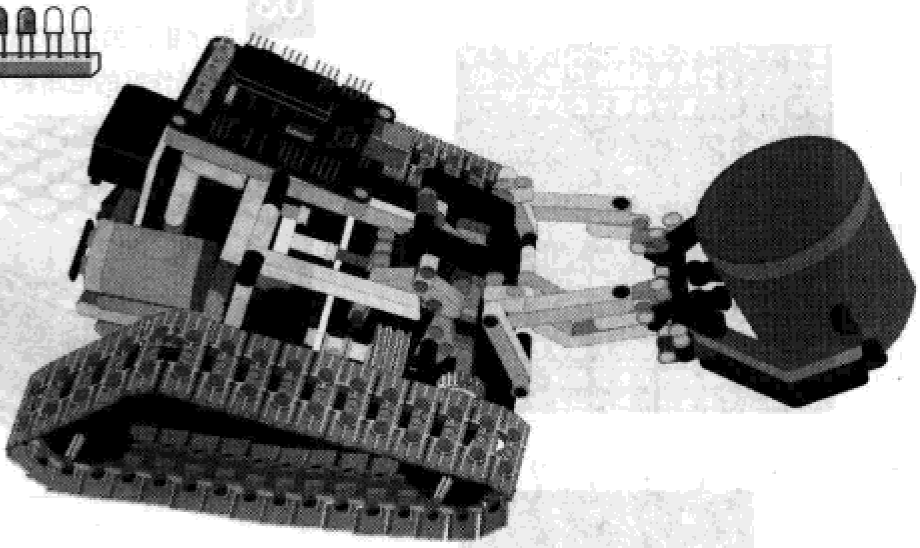
购买方式：见本刊第104页。

DB1教学开发套件：**包括DB1基础开发套件和30多种常用功能组件，提供大量制作实例和教学视频。可直接完成各种基础DB1的电子DIY作品。适合零基础的单片机爱好者。**

售价：498元/套+运费（15元）

◇宜昌城老张 ◇插画：刘少冉

Arduino全电控乐高机械手小车



乐高迷们达到一定的搭建水平后，往往不会满足于照着详细的套件搭建图纸进行制作，而是想改装出自己创意的作品，其中把原先的静态模型加上乐高Technic或NXT电机，让模型动起来，是改装的一个重要项目。按照类似的思路，我把乐高8275科技套件B模型的Technic电控拆下来，换上全套Arduino设备，改装了一个蓝牙遥控、舵机驱动的机械手小车。

视频：http://player.youku.com/player.php/sid/XNDMwNzk4MjQ0/v.swf

原先的乐高8275科技套件B模型，由两个科技系列XL-Motor电机带动小车的左右轮子行走，一个M-Motor电机带动机械手抓取或松开物体。小车的后部一左一右安装了两个IR（红外）接收器，两个XL-Motor电机连接在左边的接收器上，控制机械手的那个M-Motor电机连接在右边的接收器上。IR遥控器和IR接收器都有对应的4个通道，分别由一个小拨码开关来切换通道，左接收器设置为1通道状态，右接收器设置为4通道状态，这样，用一个IR遥控器通过切换通道就可以控制连在左右IR接收器上的3个电机。机械手车可以完成前后左右行走、抓取物体的动作，如图1所示。

这次我用标准舵机替换下了乐高Technic电机。把美国mindsensors公司出品的标准舵机安装板Hitec Standard Servo Mounting kit for NXT，用4个自攻螺钉固定在舵机机身上，就可以方便地附加乐高零件了。要在舵机输出轴上附加乐高零件，我的方法是：由于乐高皮带轮零件与舵机零件袋里的圆盘连接板的孔正好可以对上，我用了两个自攻螺钉把它们连接起来，然后把圆盘连接板插到舵机齿状输出轴上，再把乐高十字轴零件插到皮带轮零件的十字孔里，于是十字轴零件就成为了舵机的输出轴，如图2所示。这样，舵机输出轴与舵机机身上的乐高零件的孔位在X轴和Y轴方向就都一致了。

把电机从模型里“掏”出来后，就可以方便地把改造后的标准舵机替换到原位，这样Arduino易控的舵机就能驱动乐高机械手小车工作了。至于32路舵机控制板，先把控制板的安装孔与乐高零件的孔位对上，再用螺钉、螺母来固定。

Arduino电控系统介绍

机械手小车所要完成的任务是：Arduino遥控器主机控制32路舵机控制板，舵机控制板再驱动遥控车两个轮子的舵机以及机械手舵机工作，两个轮子上的舵机带动小车前后左右行走，而机械手舵机控制机械手抓取和松开物体。

作品用到的Arduino电控设备有Arduino UNO控制板、蓝牙模块、32路舵机控制板、游戏杆扩展板和360°旋转舵机，如图3所示。

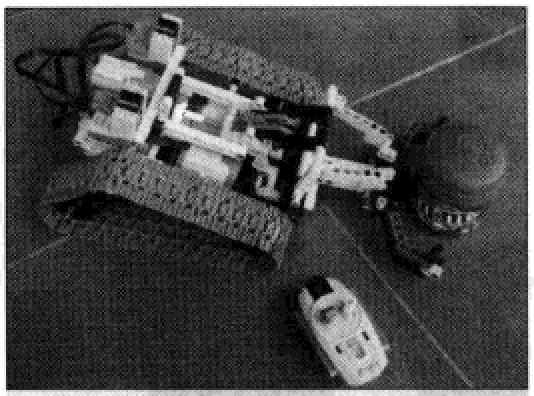


图1 乐高8275科技套件B模型全景图

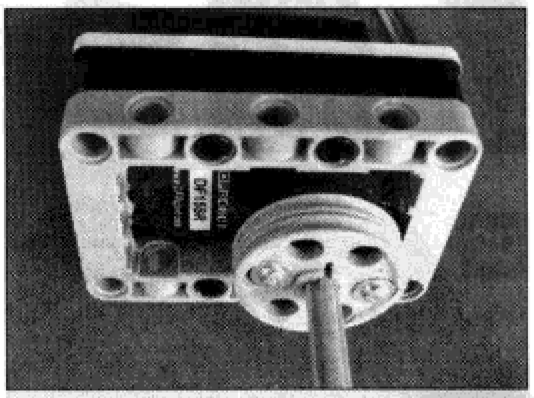


图2 利用舵机安装板实现舵机与乐高零件的结合

下面我将从蓝牙模块的功能和参数设置、32路舵机控制板的电源供给和跳线帽设置、舵机零速时PWM信号脉宽值的确定、游戏杆扩展板的功能这4个方面来讲解这个作品的电控系统。

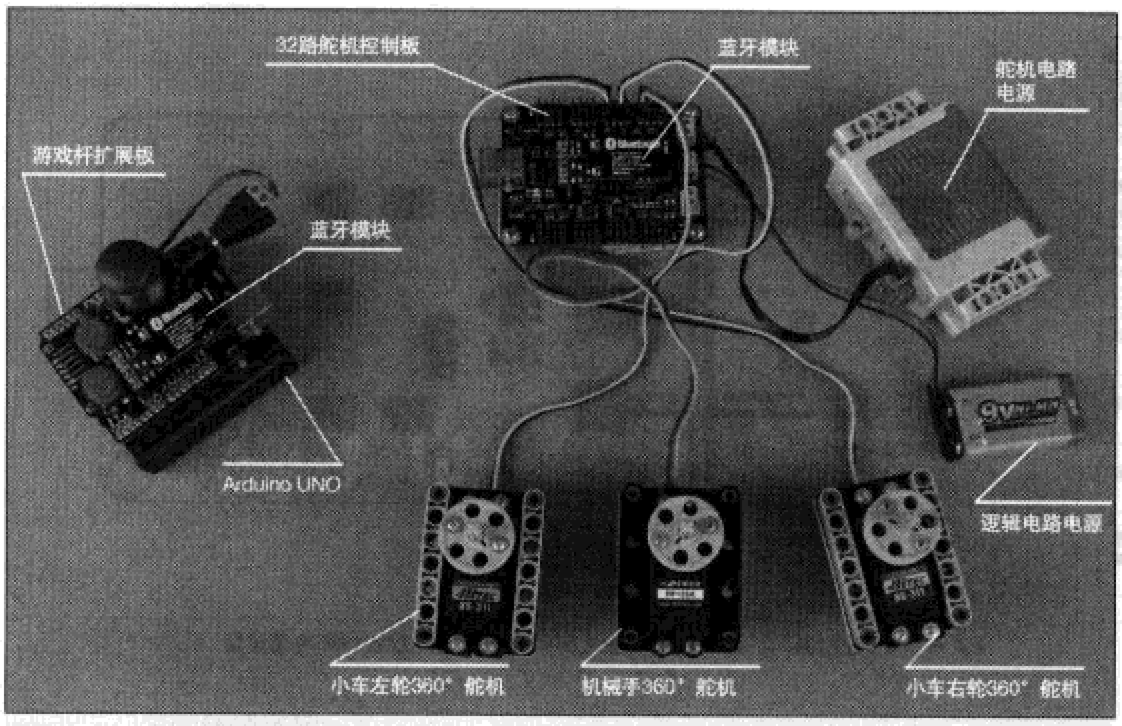


图3 Arduino电控系统的组成

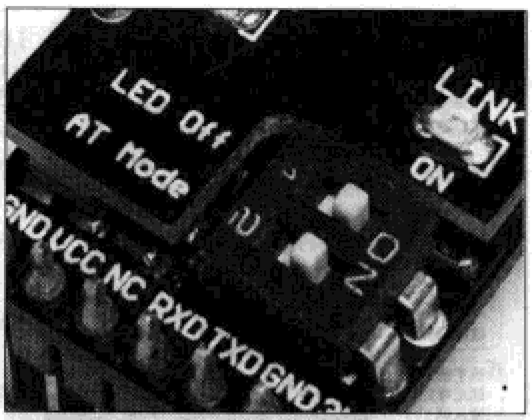


图4 DF-Bluetooth V3蓝牙模块的AT命令模式选择

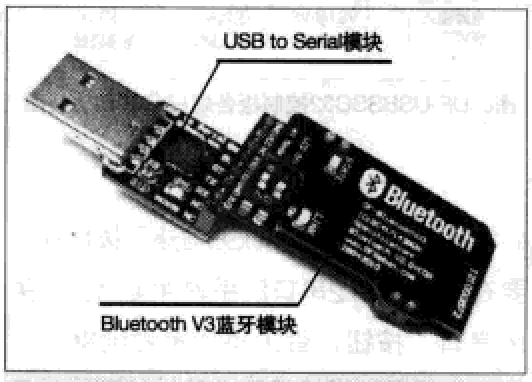


图5 USB to Serial模块与蓝牙模块的插接方法

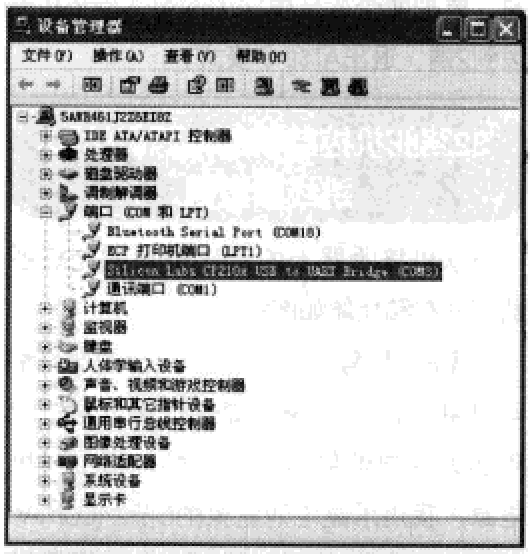


图6 USB to Serial模块生成的串口号

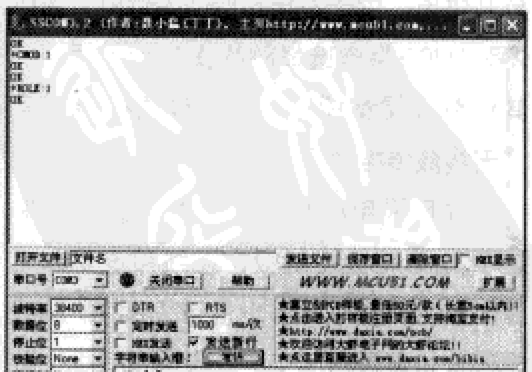


图7 用SSCOM3.2串口助手软件设置蓝牙模块参数

蓝牙模块的功能和参数设置

这个蓝牙遥控机械手小车，用了一个Arduino控制器作为遥控器主机，一个32位舵机控制板作为接收器从机，两者之间采用蓝牙无线通信，所用到的一对蓝牙模块是DFRobot出品的Bluetooth V3模块。

Bluetooth V3蓝牙模块上有一个两位拨码开关，如图4所示，1号开关LED Off是LINK灯的开关，可以关闭LINK省电，2号开关AT Mode是AT命令模式开关。

通过串口助手软件发送AT命令设置蓝牙模块参数时，需要用到USB to Serial模块，如图5所示，该模块的功能是将TTL串口转换为USB接口。

安装好驱动程序后，将2号开关AT Mode拨到ON端，在Windows的设备管理器里可以看到自动生成的串口号，如图6所示，不同电脑产生的串口号可能不同。

接着打开SSCOM3.2串口助手，如图7所示，选择USB to Serial模块对应的COM口（这里是COM3），设置波特率为38400，在发送行（字符串输入框）输入各AT命令（参见官方说明）进行参数设置。

实际上只要修改3个参数即可，首先输入双引号里的内容，即“AT+CMODE=1”，其中1含义是任意蓝牙地址连接模式（不受绑定指令设置地址的约束）。把两个蓝牙模块的CMODE参数都设置为1，可以用“AT+CMODE?”来核实参数是否设置对了。把波特率改为115200bit/s，通过在发送行输入AT命令“AT+ UART=115200,0,0 ”来设置。由于蓝牙模块默认为从机模式，所以只拿出一个蓝牙模块把它设置为主机模式，在发送行输入“AT+ROLE=1”，其中1的含义是模块为主机。其他参数直接用默认参数。

主从成对使用时，不需要驱动程序，也不需要配对密码，两个模块上电就能传输。模块上的STATE灯频繁闪烁表示正在配对，LINK灯常亮表示配对完毕，此时串口功能已经启动。一主一从成对正常使用时，LINK灯不会灭。如主机和从机距离太远而断线，则主机和从机的灯一直闪烁，如果它们距离再靠近，则又会自动连上。主机会记忆它配好的从机，一上电，主机就会找它记忆的从机地址。通过串口助手设置好参数后，以后两个模块都会自动无线虚拟串口联机，你把它们看成有线串口联机，用熟悉的RS232通信协议编制通信程序即可。

另外还有两点需要注意：一是把USB

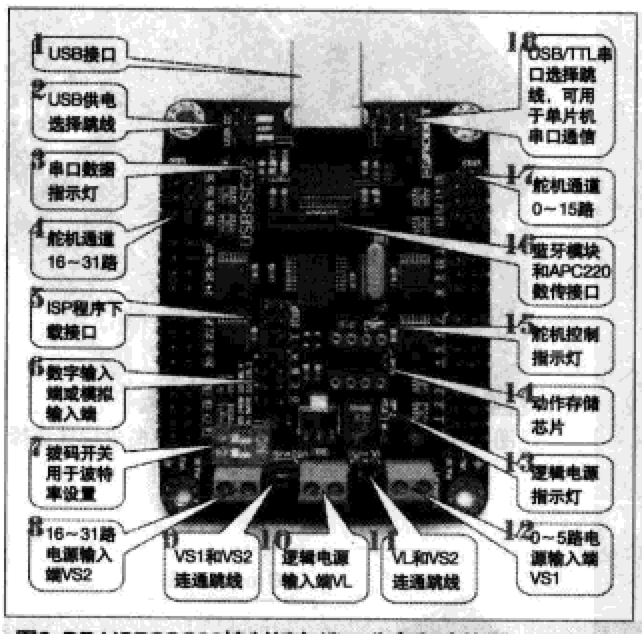


图8 DF-USBSSC32控制板各端口分布和功能图

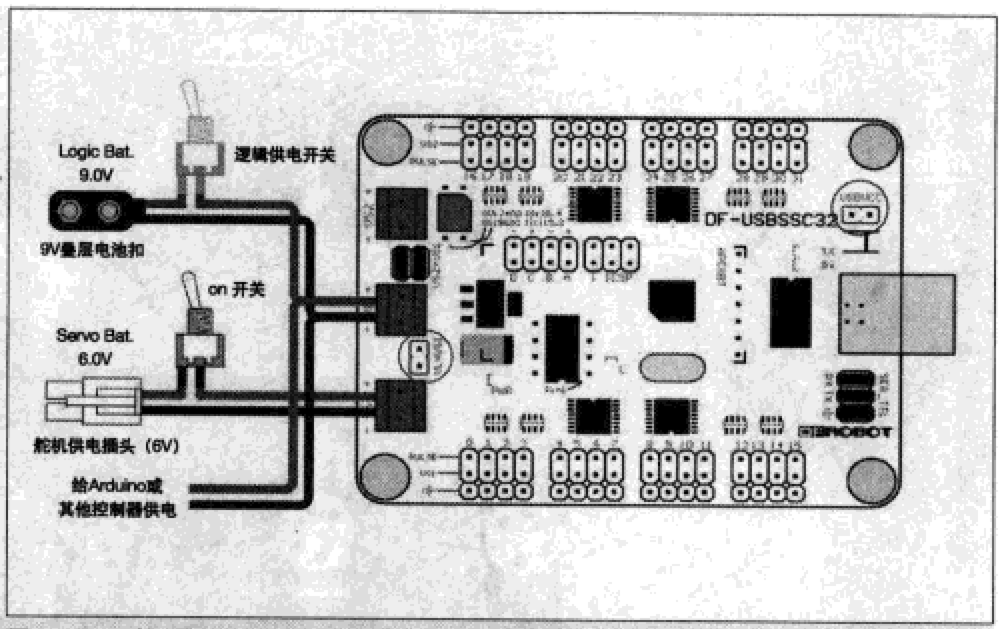


图9 Arduino控制器和32路舵机控制板之间串口通信时的跳线帽和电源设置

to Serial模块从电脑的USB插座里拔出前，要在SSCOM3.2串口助手软件里点击“关闭串口”按钮，否则串口资源会继续占用，如果再把模块插到电脑，就不能使用这个串口了，二是在双单片机蓝牙通信前，要把两个蓝牙模块上的AT Mode开关拨到2端，退出AT命令模式。

32路舵机控制板的电源供给和跳线帽设置

从机接收器上的32路舵机控制板各端口分布和功能如图8所示。

图8中标号为1、9、10、11的端口都可以供电，10号端口提供逻辑电源，我用9V方块电池供电，12号端口提供舵机电源，我用乐高电池盒里的5节2400mAh充电电池供电，11号“VL和VS1连通跳线帽”不插上，断开，逻辑电源与舵机电源分开供电，由于不用电脑USB供电，所以2号“USB供电选择跳线帽”也不插上，其他跳线帽都插上，蓝牙模块插在16号“无线数传接口”上。

项目采用Arduino遥控器主机来控制这个32路舵机控制板，跳线帽设置和电源供给应如图9所示。注意，图9中跳线帽部分如果是白色空白，说明没有插上跳线帽，如果是黑色矩形，说明插上了跳线帽短接。

32路舵机控制板的通信波特率设置为115200bit/s，用通过图8中的7号拨码开关来设置（见图10），把两个拨码开关都拨到ON端。

舵机零速时PWM信号脉宽值的确定

舵机是一种位置伺服的驱动器，主要是由外壳、电路板、无核心电机、齿轮与位置检测器构成。其工作原理是由单片机发出PWM（脉宽调制）信号来控制舵机运行。PWM信号的周期为20ms，基准脉冲宽度为1500μs，实际脉冲宽度范围为500~2500μs。如果是180°舵机，PWM信号脉冲宽度的范围就对应舵机的转角范围从-90°到+90°，如果是360°旋转舵机，则对应着舵机的转速和转向，脉宽为500μs，对应舵机以最高速度反转，脉宽为2500μs，对应舵机以最高速度正转，如果脉宽为基准脉宽1500μs，转速应该为零速。但是即使360°舵机是同一厂家、同一批次的产品，当单片机发出脉宽为1500μs的PWM信号时，舵机的转速也可能会偏离零速，所以我用PC机舵机控制软件来确定各个舵机应该发出脉宽为多

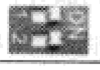
DIP拨码开关	波特率
	2400
	9600
	38.4k
	115.2k

图10 舵机控制板上DIP拨码开关与波特率设置

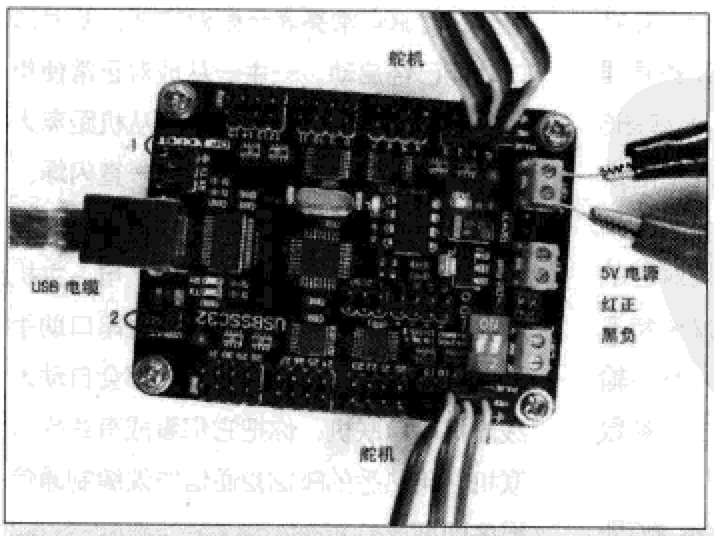


图11 USB调试时的跳线帽和电源设置

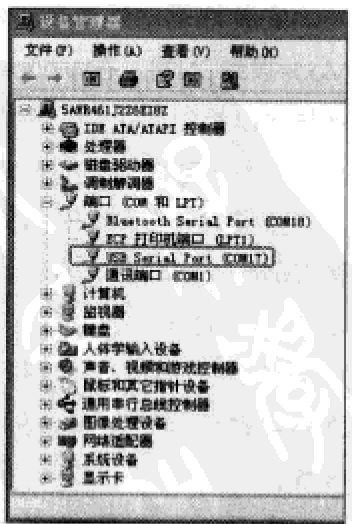


图12 舵机控制板的USB串口号生成

少的PWM信号，才会使某一舵机的速度为零。

首先要对32路舵机控制板的跳线帽进行设置，还要安装控制板的USB驱动软件。

如图11所示，连接USB电缆到控制板，将红圈1位置（标注有接地符号）的跳线帽插到红圈2位置，即采用USB电源给控制板逻辑部分供电，舵机部分则还是采用乐高电池盒供电，并接到图8所示的12号“VS1电源端子”。使用USB供电后，红圈3处要断开，10号“VL逻辑电源端子”的9V电池也要断开。DIP拨码开关都拨到ON处，波特率选择为115.2kbit/s。乐高机械手小车的右轮和左轮的舵机分别连在5号和7号舵机端子上，机械手舵机连在3号舵机端子上。

安装好驱动程序后，把舵机控制板上的蓝牙模块拿下来，再把它连接到电脑的USB接口上，在Windows的设备管理器里，可以看到自动生成的串口号（见图12，这里为COM17），不同电脑产生的串口号可能不同。

接着打开舵机控制软件，如图13所示，选择串口号为COM17，设置波特率为115200bit/s，点击“连接”按钮，然后调整用矩形框标注的3个舵机速度（P3、P5、P7值），看看或者听听，到底设置为多少才能使机械手小车上的舵机不转动。我连在3、5、7端子的舵机脉宽分别要微调至1510、1505和1500，3个舵机才一点也不转动。确定了零速脉宽值后，把它们记录下来，填写到文章后面的遥控器主机Arduino程序相应程序行中。最后点击“断开”按钮，释放COM17串口资源。

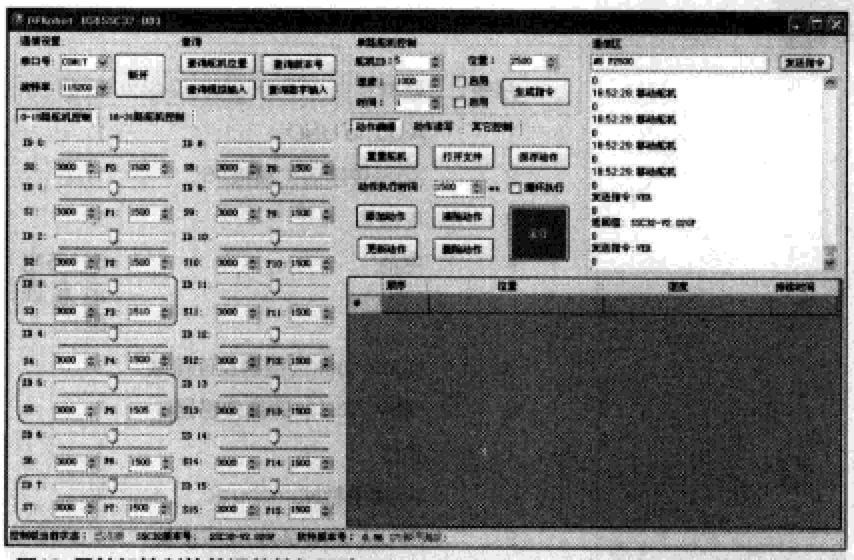


图13 用舵机控制软件调整舵机零速

游戏杆扩展板简介

这个作品用到的另一个电控设备就是DFRobot出品的JoyStick Input Shield游戏杆扩展板，如图14所示。游戏杆扩展板上有一个PS摇杆和两个大拇指按钮。PS摇杆占用Arduino控制器的模拟端口pin0（Y轴）和pin1（X轴），PS摇杆不仅可以X、Y轴两个方向摇动，而且可以作为一个按钮按动（标称为A按钮），另外两个大拇指按钮，红色的是B按钮，蓝色的是C按钮。A按钮占用Arduino控制板的数字端口pin5，B按钮占用数字端口pin3，C按钮占用数字端口pin4。

游戏杆扩展板采用叠层设计，可以轻松插接到Arduino Duemilanove或Arduino UNO上，上面预留Bluetooth V3蓝牙模块和APC220数传模块的接口，能方便地实现无线遥控功能。

Arduino软件程序的编制

只有主机遥控器才需要编写程序，机械手小车上的从机接收器由于使用了32路舵机控制板，不需要编写程序。舵机控制板接收到主机遥控命令后，会自动领会，并驱动舵机工作。遥控器主机程序因为有详细的注释，就不赘述了。注意，向Arduino控制板写程序前，要先把蓝牙模块从其TTL串行接口上拔下来，否则程序无法写入，写完程序后，再插上蓝牙模块。

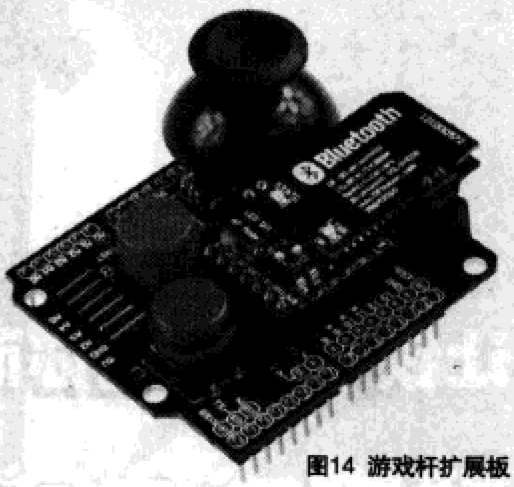


图14 游戏杆扩展板

主机遥控器程序任务是：采集遥控器游戏杆扩展板上的PS摇杆和大拇指按键信息，处理后，通过蓝牙串口，向遥控车上的舵机控制板发送字符串控制命令，这些命令分别控制小车的前后左右行走、机械手抓取或松开物体。

主机程序写入后，按照图9所示设置舵机控制板上跳线帽和电源供给，两个设置波特率的DIP拨码开关都拨到ON，主从机都插上蓝牙模块，就可以遥控乐高机械手小车了。

结束语

国内的机器人爱好者限于条件，不可能像专门公司或者国外发烧友那样，拥有先进的数控机床和雕刻机，针对特定的机器人项目，制作相应尺寸和形状的机械结构件。当然网上也有些制作机器人的结构件，但是缺少齿轮、链轮等传动件，而且重组性不强，大都只能搭建几个选定的机器人作品，想用网上那些结构件创意出自己设计的机器人项目，困难比较大。受到机械结构件的局限，国内的Arduino创意作品主要停留在纯电子趣味实验阶段，很少做到机电结合。

那么有没有种类丰富、高效方便的机械结构件产品可以为Arduino电控系统提供机器人应用的机械平台呢？我认为国际上流行的乐高积木是一个很好的选择。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

◇程晨

让铁甲钢拳随你而动
臂带式体感交互控制器DIY

在用手柄玩了一段时间格斗机器人之后，本人又在控制器方面进行了一次升级。不再使用类似游戏机的手柄，而是自制了一个臂带式体感交互控制器。

大家一定觉得“臂带式体感交互控制器”这个名字太抽象了，具体说，就是用加速度传感器来获取手臂的姿态，然后通过无线的方式来控制机器人或者其他装置。这完全可以视作动画片中通过人的肢体动作来同步控制巨型超级机器人的操纵系统的雏形。

我用到的器材如图1所示。

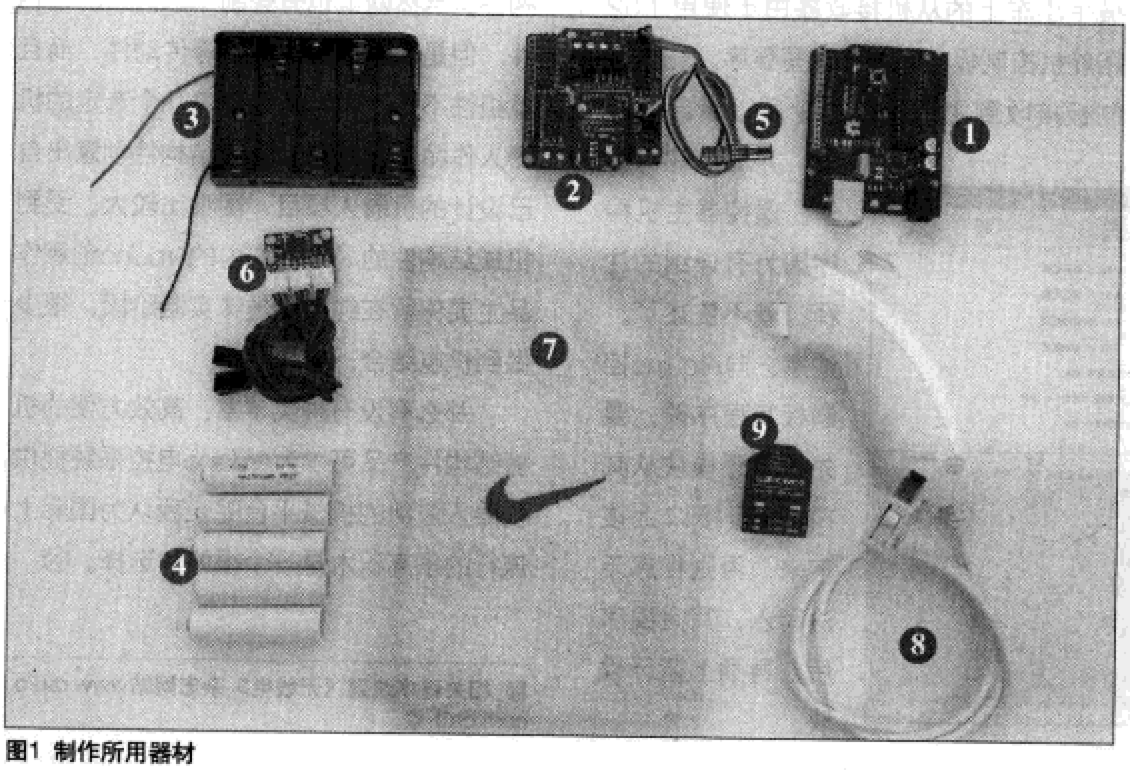


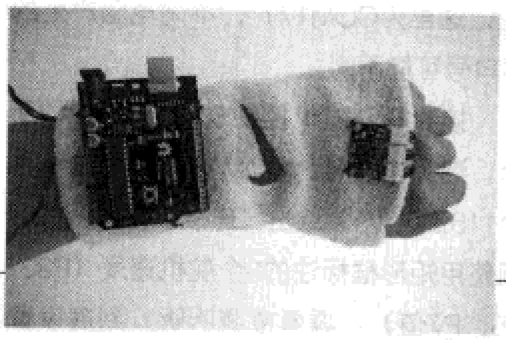
图1 制作所用器材

序号	器材	数量
1	Arduino UNO	1
2	Xbee传感器扩展板V5	1
3	电池盒	1
4	电池	5（与电池盒匹配）
5	Numchuck连接器及连接线	1
6	MMA7361加速度传感器	1
7	护膝	1
8	Wii副手柄Numchuck	1
9	DFduino wireless无线模块	1

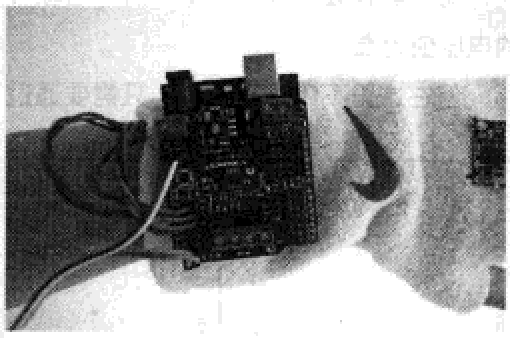
制作步骤

先来说说硬件的连接，首先将护膝带在左手手腕上，为什么选择一个护膝而不直接用一个护腕呢？这是因为护膝的空间比较大，制作起来比较方便。如果用护腕，则是完全勒在手腕上的。

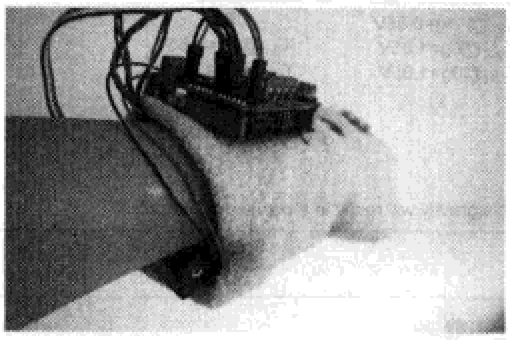
01 将护膝戴到虎口位置即可，可将虎口的位置缝合起来，使其更像一个手套。同时把Arduino控制板和加速度传感器缝在护膝上，加速度传感器的连接线从护膝内穿过。



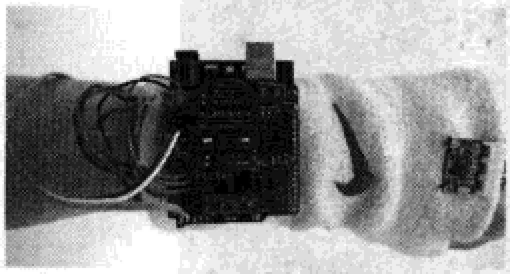
02 将Xbee传感器扩展板V5插到Arduino控制板上，同时将加速度传感器的连接线连接到A0、A1和A2上，分别对应*x*、*y*、*z*三个轴向，并且把Numchuck连接器用连接线连到传感器扩展板上，连接时要注意引脚的定义，连接器的d端对应A4，c端对应A5。



03 将电池盒连接在传感器扩展板的电源输入端，并把其固定在护膝内的手臂内侧。



04 将之前遥控器内的DFduino wireless无线模块拆下，并安装在传感器扩展板上。



05 最后将Wii的副手柄Numchuck接上，并将其握在右手内。这样，臂带式体感交互控制器的硬件部分就算完成了。

06 接下来说说软件部分。这个遥控器的控制思路是这样的：当我水平伸出手臂时，机器人会做出摆臂的动作，当我向前挥动手臂时，机器人也会做出打拳的动作。而机器人的移动依靠Numchuck手柄上的摇杆配合手柄上的Z键和C键完成。控制动作和机器人的动作对应关系如下表所示。

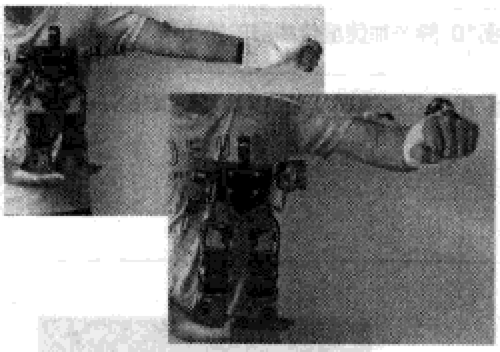


图8 向前挥动手臂

序号	动作说明	触发指令	控制动作
1	机器人前进一步	1	摇杆向前
2	机器人后退一步	2	摇杆向后
3	机器人左转	15	摇杆向左
4	机器人右转	14	摇杆向右
5	机器人向左滑动一步	8	按下Z键同时摇杆向左
6	机器人向右滑动一步	7	按下Z键同时摇杆向右
7	机器人下蹲	12	按下Z键同时摇杆向后
8	机器人起身	13	按下Z键同时摇杆向前
9	左拳	6	左手向前伸
10	右拳	5	右手向前伸
11	左臂摆动	4	左手水平抬起
12	右臂摆动	3	右手水平抬起
13	向前倒下后起身	9	按下C键同时摇杆向前
14	向后倒下后起身	16	按下C键同时摇杆向后

Wii的副手柄Numchuck的使用方法，本刊2010年第12期和2012年第6期都做过介绍，这里再简单说明一下。Arduino使用这个副手柄需要单独下载一个WiiChuck库文件，有了这个库文件，在代码中直接调用wii.getAccelAxisX( )、wii.getAccelAxisY( )之类的函数就可以直接获得摇杆的值、手柄内加速计的值以及按钮的值。这里我还要对C键和Z键做一个说明：我手上的这个Numchuck手柄，当Z键和C键都没有按下时，两者返回的都是1，当按下C键时，C键返回值为0，Z键返回值为1，当按下Z键时，两者返回的值都是0，当C键和Z键都按下时，Z键的返回值为0，C键的返回值为1。

这里着重说一下MMA7361加速度传感器（见图9）的使用。加速度传感器是一种能够测量加速度的电子传感器。通过测量由于重力引起的加速度，可以计算出设备相对于水平面的倾斜角度，分析出设备移动的方式。

MMA7361加速度传感器基于Freescale（飞思卡尔）公司生产的微型电容式三轴加速度传感器MMA7361芯片。该芯片采用信号调理、单极低通滤波器和温度补偿技术，提供±1.5g/6g两个量程，用户可在这2个灵敏度中选择，该器件还带有低通滤波并已做0g补偿。

传感器有3个模拟量的3芯接口，分别表示*x*、*y*、*z*三个轴的加速度值，同时预留排针焊接孔。前面已经说过，我们分别将*x*、*y*、*z*三个轴向的加速度值输出引脚连接到A0、A1和A2。

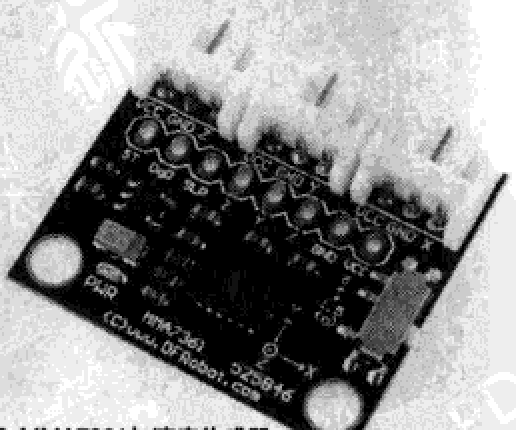


图9 MMA7361加速度传感器

我们使用的是1.5g的量程，图10给出了静态加速度传感器几种状态下各个轴向加速度的值，由于量程是-1.5~+1.5g，所以当加速度为0g时，引脚输出的电压大致为1.65V。又因为有重力的关系，所以方向向下的轴向上加速度值是1g（根据方向的不同，可能是+1g或-1g）。我们可以通过如下的代码将传感器输出的模拟量值转换为电压值（以x轴为例）。

```
vol_x=analogRead(A0)*5.0/1024;
```

然后根据1.5g量程下的灵敏度——800mV/g，通过电压值换算出轴向上当前的加速度值，代码如下。

```
g_x = (vol_x-1.76)/0.8
```

在实际的应用中，由于传感器的差异，当加速度为0g时，输出的电压值可能不是1.65V，所以在使用加速度传感器之前，需要对其进行校准，以当前0g时输出的电压值为准。

但在这里不用这么麻烦，只需要通过判断返回的模拟量值是否在一个区间内，就能够推断出传感器当前大致的姿态，进而发送命令控制机器人。

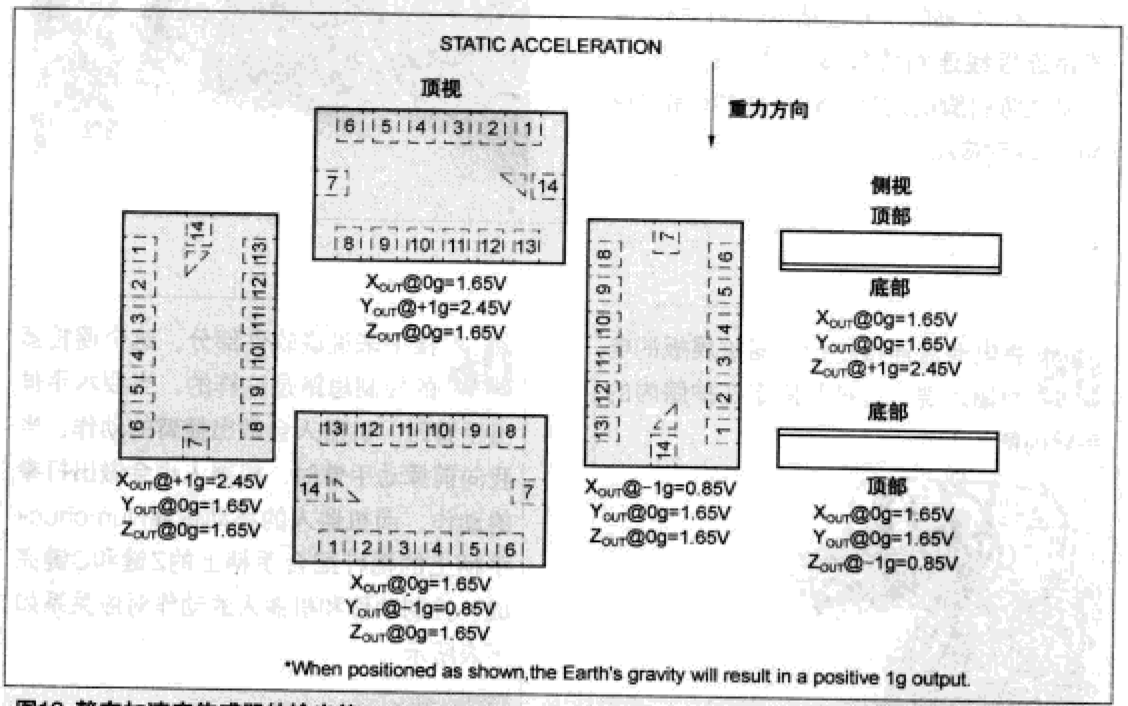
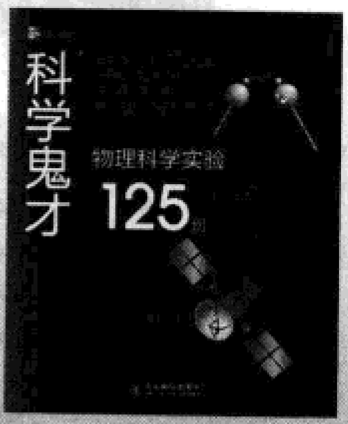


图10 静态加速度传感器的输出值

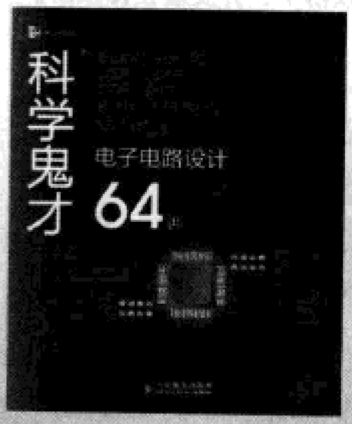
■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

新书介绍

如果你厌倦了枯燥的教科书，
那么来看看科学鬼才们都在做些什么吧！
深入浅出的基础知识讲解
趣味横生的经典实践案例
步骤齐全的科学实验指导
在实践中学习，助你成为科学鬼才！

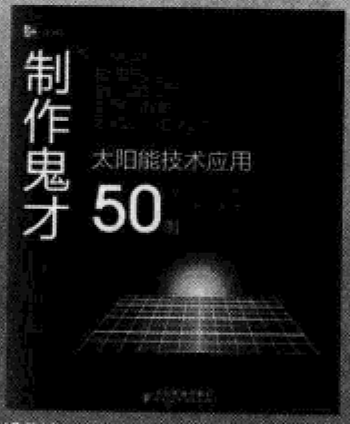


ISBN：978-7-115-28500-3

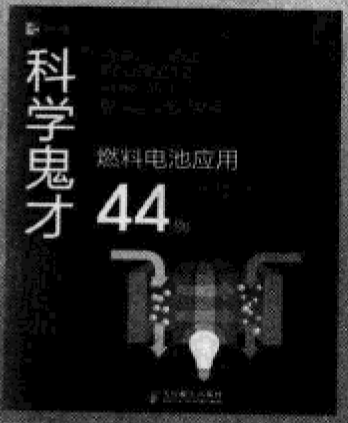


ISBN：978-7-115-28503-4

ISBN：978-7-115-28424-2



ISBN：978-7-115-29132-5



ISBN：978-7-115-29054-0

全国各地书店有售

网店推荐

互动出版：http://www.china-pub.com
卓越亚马逊：http://www.amazon.cn
当当：http://book.dangdang.com
邮科图书专营店：
http://youkets.mall.taobao.com

废旧遥控玩具大改造：

会打BB弹、带激光瞄准的简易遥控履带火炮

◇方震宇

当初为了学习做遥控坦克模型，在网上购买了一台遥控玩具坦克拆开来研究，坦克算是彻底报废了，唯独完好地留下了坦克车底和齿轮箱，丢掉也浪费，还是拿来做个新奇的改造吧！

所需材料

名称	件数
玩具坦克	1
ABS改造板（120mm×120mm×2mm）	1
ABS改造板（120mm×60mm×1mm）	4
M3黄铜柱	7
M3螺栓	6
恒龙虎式BB弹波箱	1
胶带	若干
胶水	若干
2通道遥控器电路板	1
红点式激光头	1
钙片瓶子	1
9g舵机	1
4通道航模遥控器	1
伟恒2路低压电调	1
4.8V镍氢电池组	1
4.8V电池组充电器	1

所需工具

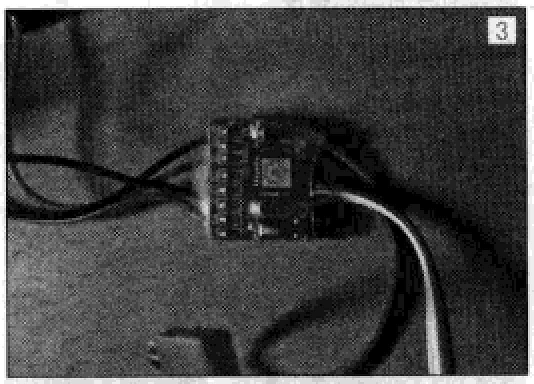
锉刀组

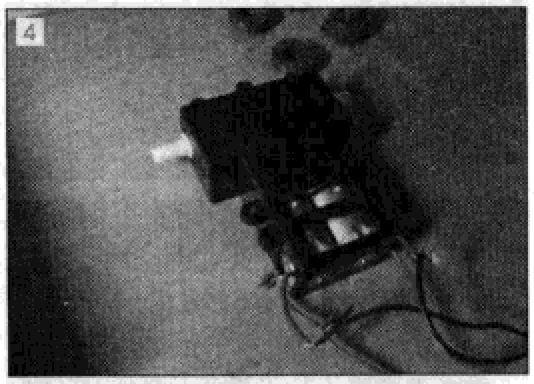
电磨套装

勾刀

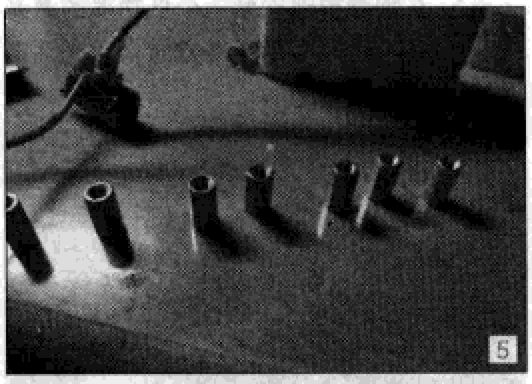
电烙铁

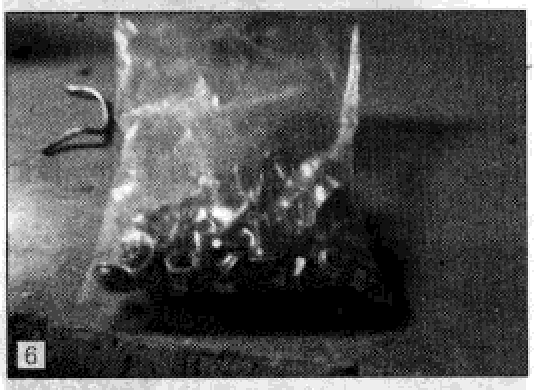
1 4通道遥控器 2 接收机+晶体 3 伟恒2路低压电调 4 动力齿轮箱

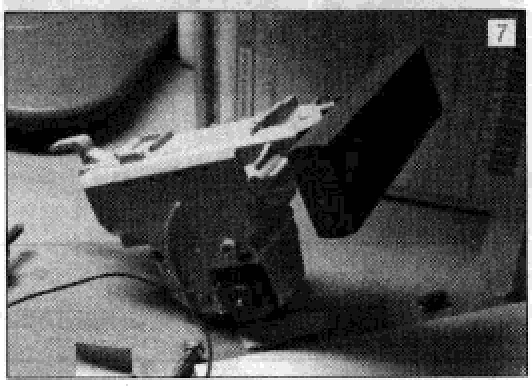


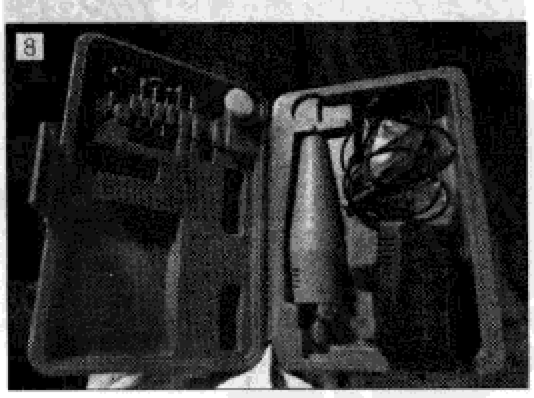


5 M3黄铜柱 6 M3螺栓 7 打弹波箱 8 电磨套装



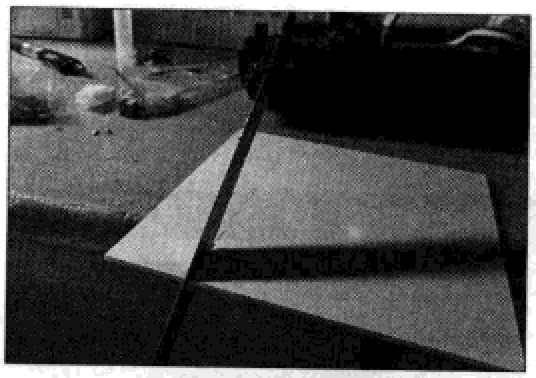




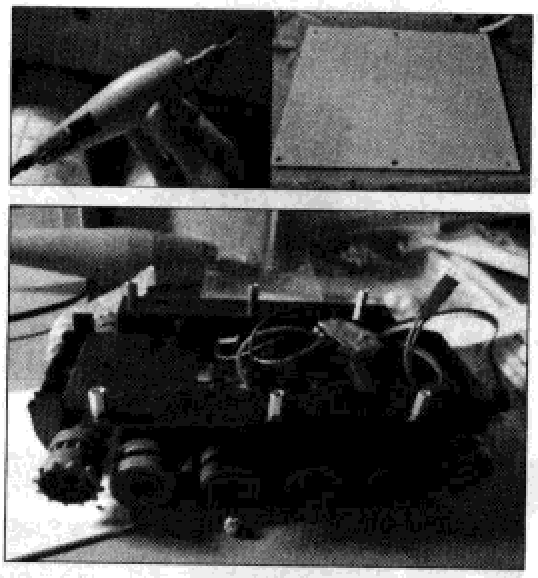


制作过程

01 先切割120mm×120mm×2mm的ABS改造板，将板材切割成能与车底吻合的大小。

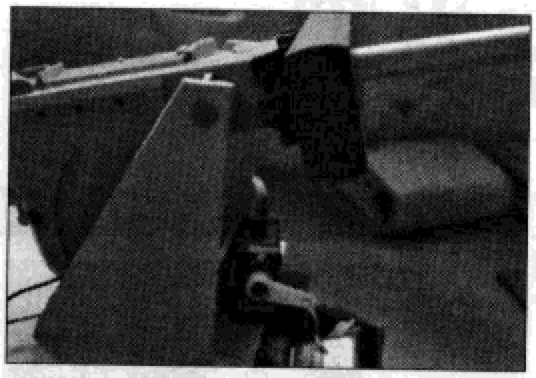


02 在电磨上安装3mm钻头，在改造板和车体上对应的4个角和长边的中点共打了12个孔（车体6个、板材6个），并在车体的孔上用M3螺栓固定M3黄铜柱。

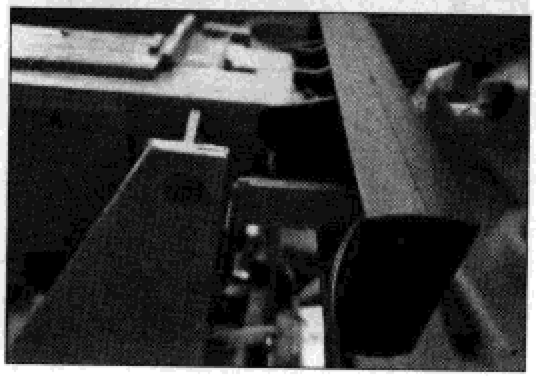


03 在铜柱上方安装切好的2mm厚的ABS改造板。

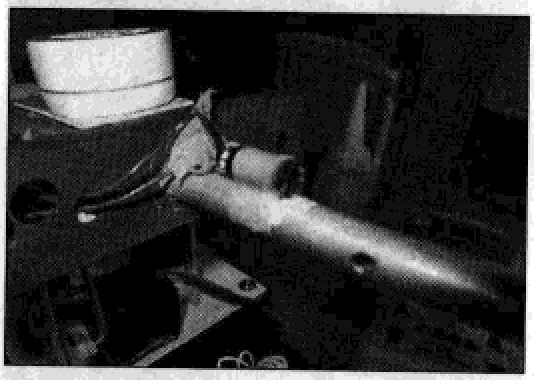
04 将1mm厚的ABS改造板切割成炮架，安装上BB弹发射波箱，并粘接在2mm厚的ABS改造板上。



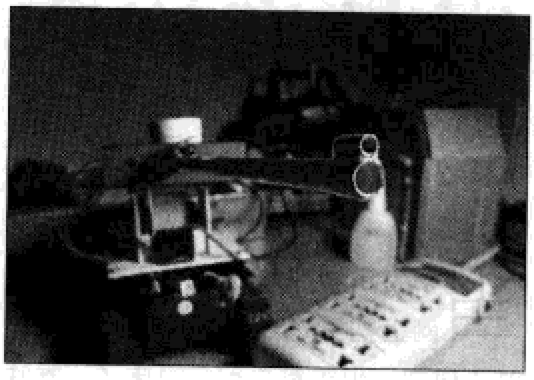
05 在发射波箱上找一个适合的螺丝孔，扩大成直径2mm的孔。将直径2mm的钢轴弯折成连杆，一端固定在发射器上，一端与车体上安装的舵机连接，由此来控制炮管的俯仰角度。



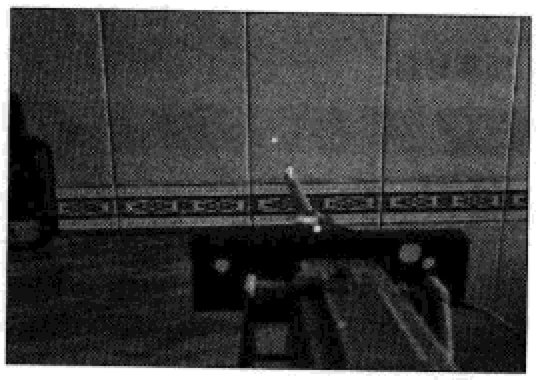
06 在炮管根部安装一个低功率的激光头，用来指示瞄准方向，激光头电源线用长导线引出。



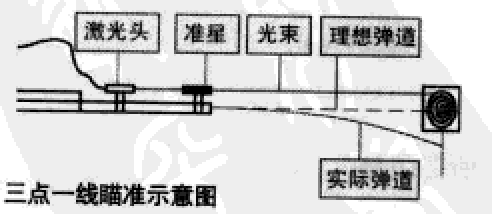
07 在炮口上方固定一个与激光头连成一线的M3空心六角黄铜柱，用来充当准星。



08 校正激光瞄准系统，保持激光头发射出的光束从M3黄铜柱里穿过，则激光束基本与炮管轴线平行。



09 现在来说明一下瞄准的实际状况：激光束与炮管轴线平行后，激光束所指到的位置向下5mm为炮管轴线所指位置。若发射出来的炮弹忽略重力影响，则炮弹沿着炮管轴线方向运动，最终打中激光所瞄准的点下方5mm处。但实际上炮弹在出膛后受到重力以及空气阻力的影响，弹道会向下偏，而且炮弹的速度也会逐渐减小，则弹道呈类抛物线型。

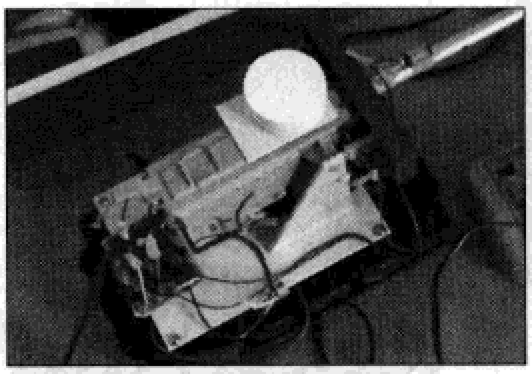


三点一线瞄准示意图

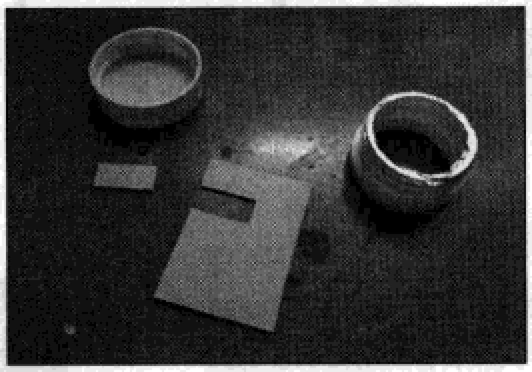
Tips

因为大功率激光头不仅耗电、而且照在某一点时间过长会产生高温甚至起火，加之BB发射波箱的有效射程也就几米远，所以要用低功率激光头。

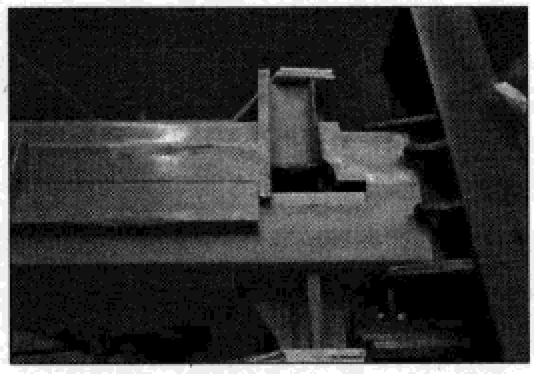
10 打弹平台是用1个双通道开关控制的玩具车遥控板进行控制，一路控制打弹波箱的运行，另一路控制瞄准激光的通/断电，由于电路板是用3.6V电源，而车体行走电源是4.8V的，因此不能共用。于是在打弹平台上附加一个3.6V的锂电池单独为打弹平台供电。



11 接下来制作弹鼓，弹鼓的大小可以根据实际需要的装弹量来选择。我用一个钙片的药瓶口加上盖子和1mm厚ABS改造板做成弹鼓，ABS板得切出一个弹槽，让BB弹能滚落到发射波箱的供弹槽里。



12 买来的发射波箱的供弹滑槽有一段突起，得除去才能安装新制的弹鼓，我用电磨将突起部分磨平。



13 用胶水将弹鼓组件粘接到供弹口上，切下来的小块板子不要丢掉，粘接到供弹槽的另一端把缺口堵住，防止BB弹滚出弹鼓。弹鼓之所以用瓶口，是因为可以用瓶盖将弹鼓盖上，防止BB弹掉出。

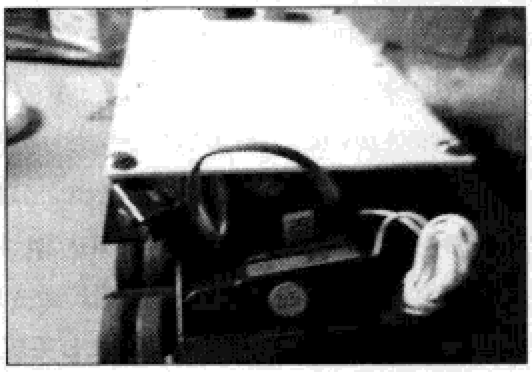
简易遥控履带火炮的相关视频：

打靶： http://v.youku.com/v_show/id_XMzI2MTQ2OTEy.html

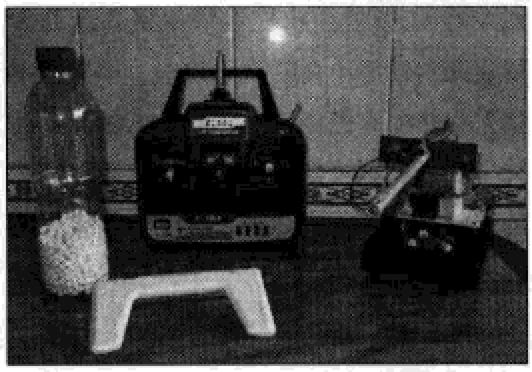
行走效果： http://v.youku.com/v_show/id_XMzI2MTQ2OTEy.html

弹鼓供弹： http://v.youku.com/v_show/id_XMzI2MTMzNjA0.html

14 最后就是行走控制部分的连接了。4.8V电池接到电调上，电调的2路有刷电机输出分别接到齿轮箱的两个130电机上，电调的信号线和炮管俯仰控制舵机的信号线接到4通道航模遥控器的接收机上。



15 到这里，简易遥控履带火炮算是全部完工了，赶快带着自己的履带炮去打靶试试。

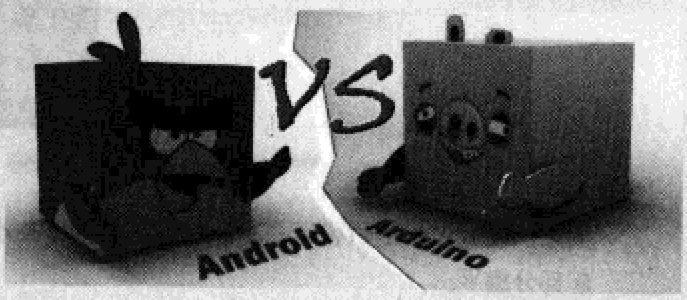


这个简易遥控履带火炮还可以进行以下改进：4通道遥控器的通道1、2控制车体的行走，通道3（油门）因为是不归中的摇杆，可用来控制炮管俯仰的角度，并可停在任意角度，不用一直推住摇杆，炮的左右瞄准用车体的原地旋转来控制，通道4可以代替控制发射波箱和激光头的遥控电路板。有兴趣的读者可以试一试。

◇朱广俊　尚春明　郭强　刘定杨

通过Android手机控制Arduino互动机器人（上）

2012年第8期《无线电》杂志上发表了《“盒仔”家里造》一文，教大家用硬纸板和Arduino搭建一套小型的互动娱乐机器人——盒仔。但当时只是重点讲解机械结构和部分Arduino软硬件，并没有对上位机控制端做过多的介绍，后来陆续得到大家的邮件和回帖咨询“如何能控制我们的盒仔？”本文将以《愤怒的小鸟》为主题，详细介绍盒仔的Arduino软硬件控制部分，以及如何通过Android手机来控制我们的盒仔。



这一次，盒仔化身成《愤怒的小鸟》里面的绿皮猪（见图1），玩家通过Android智能手机控制绿皮猪的运动，躲避来自愤怒小鸟的疯狂攻击。如果绿皮猪不幸被小鸟击中，身体会发出闪烁的红光，表示受到了伤害。如果大家发现可怜的猪猪身体不再发光了，就说明猪猪“挂掉”了。如果猪猪不再跑动了，那就是电池没电了。

我们在设计BOXZ（“盒仔”是它的昵称）之初就制定了一个目标，就是通过一套模块化的开源方案来吸引更多的爱好者和玩家加入我们，一起来开发一款有意思的互动机器人。因此BOXZ的整体架构都采用了模块化设计，并且各个接口也是开放的。大家可以在它的基础之上任意发挥，搭建属于自己的互动机器人或是战车。这里顺便提一下我们制作的亚克力版本BOXZ Pro，部分板块被优化掉了，同时增加了对传感器的支持，而整体架构依然保持不变，其内部结构如图2所示。

图1 用盒仔扮演《愤怒的小鸟》里的绿皮猪

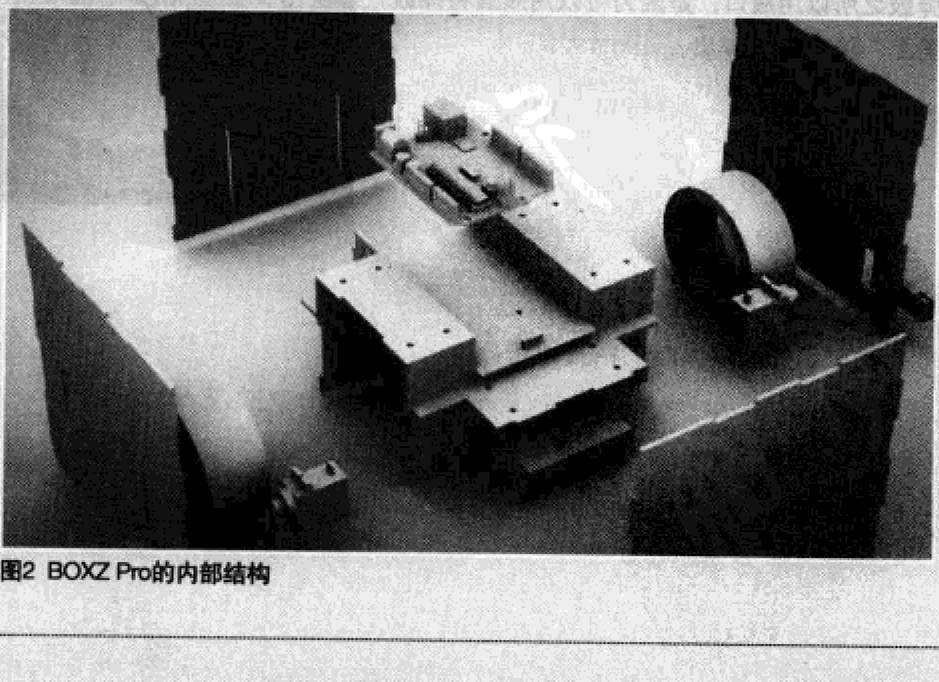


图2 BOXZ Pro的内部结构

BOXZ的控制原理

BOXZ的硬件架构如图3所示，它由Arduino主控板、电机驱动板、传感器控制板和蓝牙通信板构成，通过蓝牙协议传输控制字，而上位机控制端可以是Android手机、笔记本电脑等任何支持蓝牙通信的设备。本文重点讲解如何通过Android智能手机用蓝牙控制BOXZ。当然，大家也可以根据自己的需要把蓝牙控制板换成Wi-Fi、XBee或者2.4GHz等其他通信板，而BOXZ的其他硬件并不需要任何变更，甚至程序也不用更改。这也是模块化设计的好处，增加适量的成本，实现最大的灵活性。

标准蓝牙通信拥有通信距离较近（10m之内）、低速率、低功耗、点对点通信的特点，而且几乎所有的智能手机都支持蓝牙功能，所以如果是桌面游戏或者室内娱乐，蓝牙可以说是BOXZ的最佳选择之一。关于蓝牙模块的详细介绍和设置，我们在下面的Arduino章节会做详细的介绍。

BOXZ Pro采用双向串口通信，Android手机会将玩家的控制指令发送到BOXZ，同时BOXZ也会向上位机反馈其当前的状态。由于通信只是单字符，就像键盘的按键事件一样简单。例如你按下键盘的“u”键，Android手机就会通过蓝牙发送一个字符“u”到BOXZ的Arduino主控板中，而字符“u”在我们的控制字定义中是激活摆动手臂，然后BOXZ就会执行一次该动作。如果玩家连续点击该按钮，就会实现类似向大家招手的效果啦。

下面给大家简单介绍一下BOXZ的控制字符，由于我们定义BOXZ的目标是互动娱乐与PK，因此其定义参考了《拳皇》和《魔兽世界》的键盘定义，如图4所示，其中空格表示急停，相当于刹车。在我们的Android客户端中并没有方向键，而是通过重力感应发送对应的方向字符到Arduino。

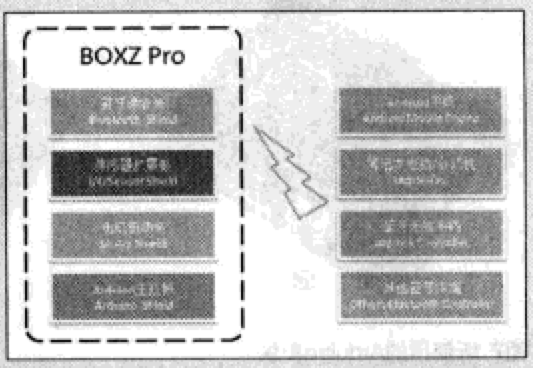


图3 BOXZ的硬件架构

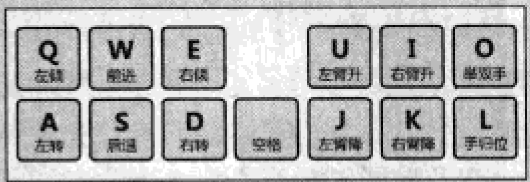


图4 BOXZ的控制按键定义

Arduino硬件部分

BOXZ采用了开源的Arduino平台，同时也具备了高度的灵活性。本次BOXZ的Arduino硬件全部来自DFRobot，其整体硬件接线如图5所示，电机驱动板、传感器和蓝牙板以叠加的方式连接。TT减速电机接线4根，电池盒引出线接到传感器扩展板的电源输入端子即可。另外这里需要两个9g舵机作为手臂，左、右手分别插入到传感器扩展板的数字端口9口和10口。两个食人鱼LED使用了PWM控制，分别接于数字端口3口和11口，用于显示被击中的状态。压电陶瓷压力传感器接于模拟端口的0口，用于检测外部碰撞。这也是我们参加上海创客嘉年华时所使用的硬件结构，组装好的效果如图6所示。

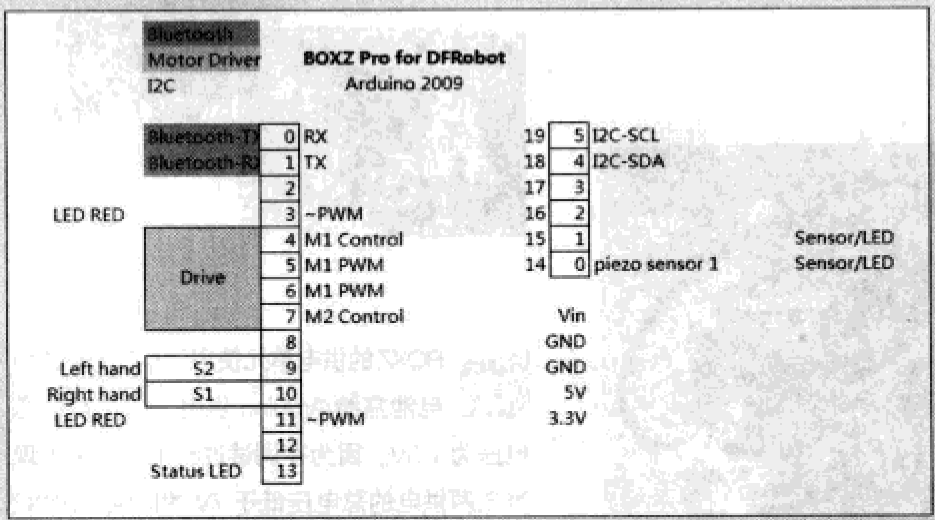


图5 BOXZ的硬件接线

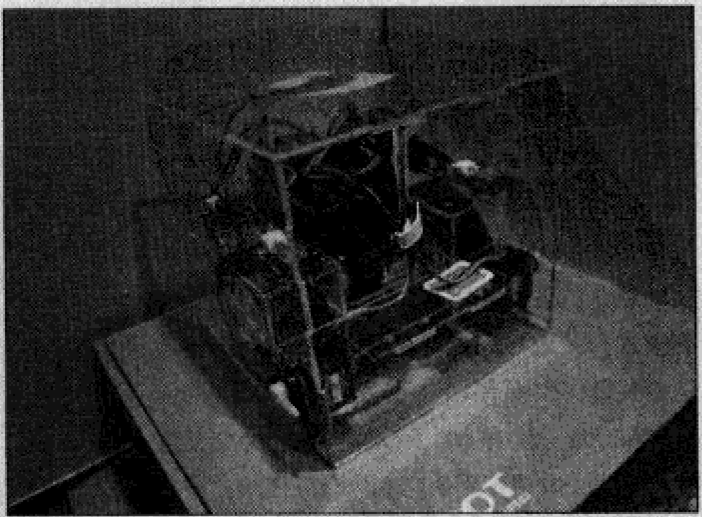


图6 组装好的BOXZ

传感器部分这里就不做过多说明，主要给大家介绍一下所使用的Arduino模块，如图7所示。

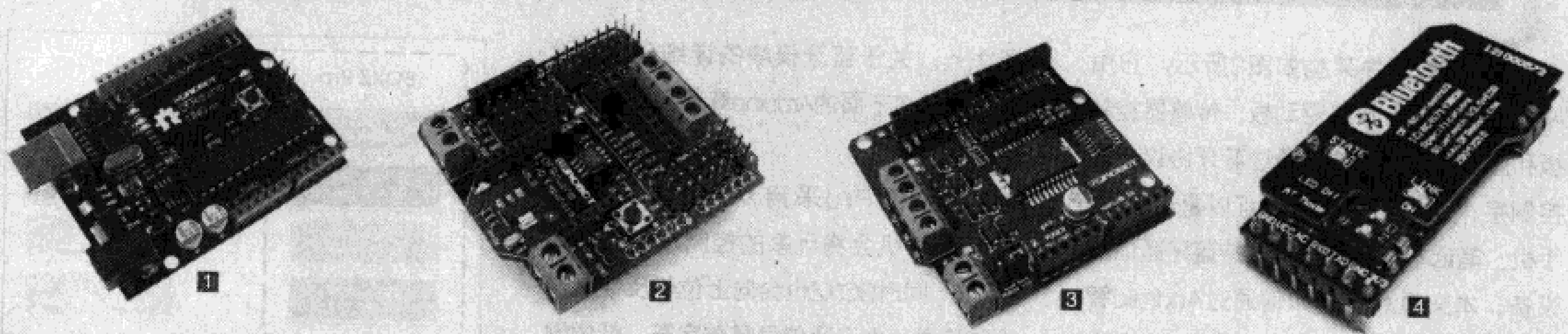
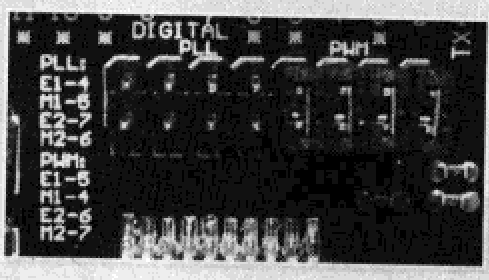


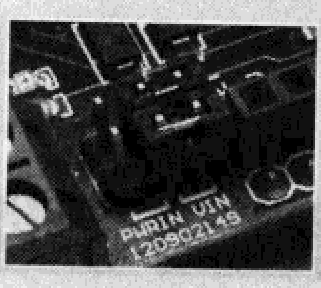
图7 所使用的Arduino模块

1. Arduino UNO
2. Arduino L298P Shield 2A大电流双路直流电机驱动板
3. Arduino XBee传感器扩展板V5（含RS485无线数传蓝牙接口）
4. Arduino DF-BluetoothV3蓝牙串口模块（可改主从机）

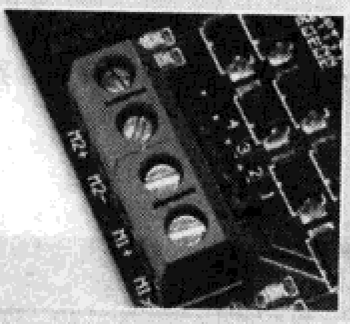
全部模块都使用默认的跳线设置，只要叠加在一起就可以了，这也体现了模块化设计的思想。在组装模块的过程中有以下几点值得大家注意。

01 确认电机驱动板的跳线控制方式选择为PWM模式，且电源管理的2个短路帽插到右边（VIN），即电机电源使用Arduino板上VIN端输入的电源。





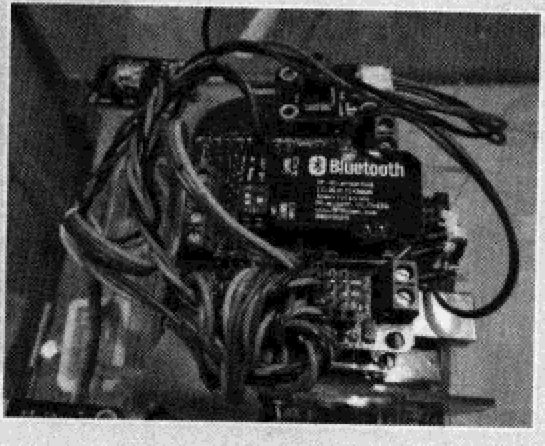
02 将TT减速电机的接线按照线号一一对应接到电机驱动板的输出口上。



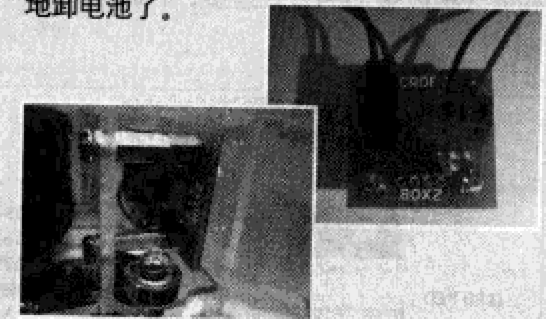
03 注意传感器扩展板的数字量（DIO、VCC、GND）和模拟量（S、GND、VCC）针脚定义是不一样的，而且连接传感器和舵机的时候需要小心。常见的舵机接线颜色定义有两种，接线时需要注意避免反插。

Servor Pin	Color1	Color2
Signal	White	Orange
Power 5V	Red	Red
GND	Black	Brown

04 蓝牙模块上面有两个DIP开关，1表示指示灯显示开关，可以根据需要自己设置，2为模式开关，默认关闭。BOXZ使用模块默认的波特率（9600），因此不需要使用模式开关进行配置。蓝牙模块与Arduino通信的关键的引脚有4个，分别是VCC、GND、RXD和TXD，其中RXD、TXD与Arduino交叉连接。如果大家使用别的厂家的蓝牙模块，一定要注意其引脚与传感器扩展板是否兼容。



05 这里我们为了开关电源方便，自制了一个电源开关模块，安装于BOXZ的底部。这样就不用在每次游戏结束之后痛苦地卸电池了。



06 BOXZ的供电单元使用了5节5号(AA)电池盒给Arduino供电，也就是说总电压为7.5V。因为在调试过程中，我们发现当电源供电的总电压低于7V的时候，BOXZ的电机动作可能会导致Arduino主控重启。

Arduino软件部分

这里主要根据《愤怒的小鸟》主题和大家说明一下Arduino代码的参数设置和主要的程序块。需要注意的是，本程序使用的是Arduino 0022版本，如果大家使用的是Arduino 1.0以上版本，需要对部分语法进行修改。

如果大家觉得绿皮猪的躲避速度太快，可以通过修改motor_speed降低速度，值越低，速度越慢。255为最大速度，最低建议设置为200。如果该数值低于150，电机可能会发出高频的响声，此时应及时断电，提高该参数。

通过修改value_health可以修改绿皮猪的最大生命值，当前为10，表示绿皮猪被击中10次后会挂掉。而绿皮猪是否皮糙肉厚，可以通过修改piezo_min参数来调节压电陶瓷压力传感器的灵敏度。这个值越大，传感器感应外部的振动或压力的灵敏度就越低。如果大家把值设定成了500+，那么这只猪基本就无敌了。

在Arduino代码的主程序中，包含setup( )和loop( )两部分（见图8）。其中setup( )是配置函数，负责对各项功能进行初始化配置，然后在loop( )中循环调用需要执行的子程序。从中可以看出，我们将主程序尽可能简化，全部通过调用子程序来实现，根据不同的需要调用不同的子程序，不仅提高了程序的灵活性，也避免了对Arduino存储空间的浪费。

在setup( )中有一条Serial.begin(9600);命令，就是负责控制Arduino通过蓝牙与外部通信的关键，这句命令将串口通信的速率设置成9600bit/s，在BOXZ的整个Arduino程序中只有这条命令负责配置通信端口，剩下的都是向串口发送字符串的Serial.println( )命令。蓝牙模块负责将来自于Arduino的数据透传给Android手机，在本应用中并不需要进行任何配置。

```
void loop()
{
  int  key;
  if(Serial.available() > 0) {
    key = Serial.read();
    if(key >= 30 && key <= 122) {
      b_motor_com(key);
      b_servo_com(key);
    }
  }
  b_pro_function();
  // servo_test();
}
```

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  motorInit();
  b_motor_stop();
  b_servo_ini();
  b_ini_function();
  Serial.println("Hello! BOXZ!");
}
```

图8 主程序中的setup( )和loop( )函数

主程序调用的子程序的功能，简单介绍如下，如需了解更多，大家可以看代码中的注释。

motorInit()：电机模块初始化

motorLrun(cmd,spd)：左侧电机控制

motorRrun(cmd,spd)：右侧电机控制

b_motor_stop()：电机停止运行

b_motor_com(keyword)：电机控制命令，其中keyword是来自Android客户端的控制字符

b_servo_ini()：舵机模块初始化

b_servo_com(int= keyword)：舵机控制命令，其中keyword是来自Android客户端的控制字符

b_ini_function()：传感器功能模块初始化

b_pro_function()：传感器功能应用，负责实现碰撞检测、LED闪烁等互动效果

BOXZ Android客户端

通过BOXZ Android客户端，大家可以像玩游戏一样控制BOXZ，它支持搜索新设备（手机蓝牙配对后自动更新蓝牙设备清单）、按键自定义、重力感应控制、屏幕尺寸自适应等功能。当然，用这种方法，大家不仅仅可以控制BOXZ，还可以控制任何使用单字符通信的蓝牙设备。

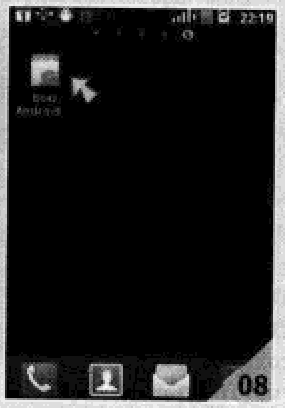
大家不要急着运行程序，先来了解一下建立蓝牙通信的操作基础。蓝牙设备是点对点通信的，并且在任何设备通信之前，都需要进行配对的认证操作。而常见的配对方式大致有3种：第一种是主机发出一个随机的认证码，从机对认证码进行确认，第二种是用户在一个设备上输入自定义的配对认证码，然后由另一端的设备再次输入相同的配对认证码，第三种是已知从机的配对码，主机发出配对申请并输入该配对码。前两种方式都需要操作界面，因此这里我们使用第三种方式，这也是蓝牙默认的模式。当然，为了安全起见，大家也可以通过设定模式修改默认密码和设备名称。

下载链接：https://boxz-android-client.googlecode.com/files/boxz-android-client-1.0.2.apk

特别提醒一点：如果未进行配对就直接打开BOXZ客户端，我们是无法在蓝牙设备列表里面发现BOXZ的蓝牙设备的，这也是目前反映比较多的问题。

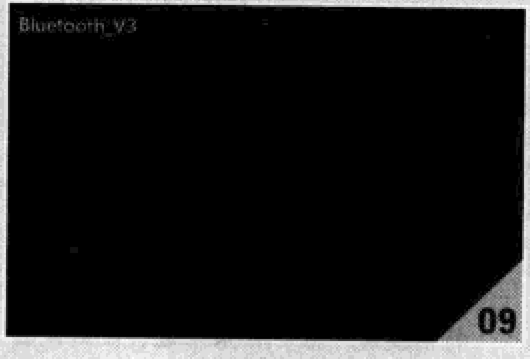
01 由于手机型号不同，操作界面也有所不同，但Android系统的结构大体上是一样的，所以大家可以参考以下操作来进行蓝牙配对。首先是打开手机设置→无线和网络→蓝牙设置→打开蓝牙。

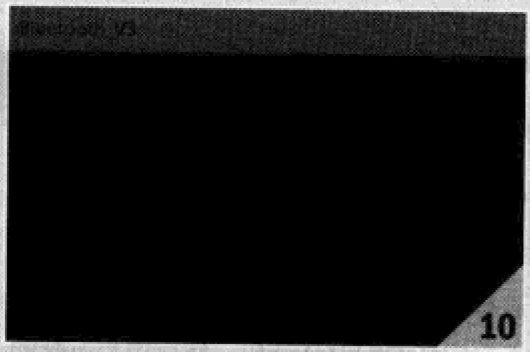
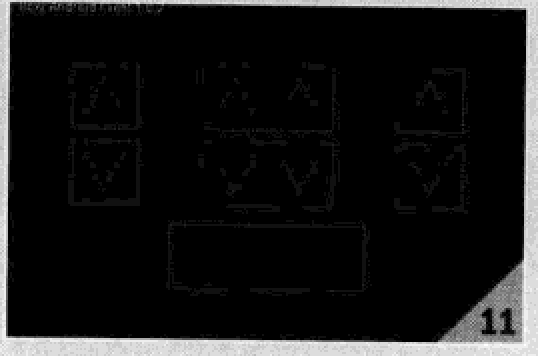
02 附近的蓝牙设备会出现在下面的列表里，BOXZ的设备名称是“Bluetooth_V3”。如果列表中没有，可以尝试点击“扫描查找设备”按钮，让系统重新搜索。



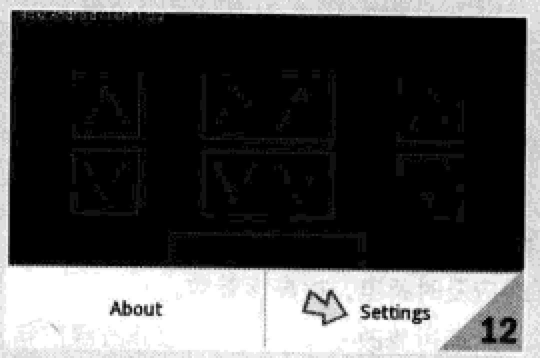
03 点击“Bluetooth_V3”会弹出配对请求界面，在其对话框中输入默认密码“1234”并确认。这时大家会发现Bluetooth_V3的状态已经由之前的“与此设备配对”变成了“已配对”，这样，蓝牙配对操作就完成了。

04 正确配对之后，返回到手机目录，找到BOXZ客户端图标，打开BOXZ的Android客户端软件，在启动菜单中就会出现BOXZ设备了，选中后进入操作界面。

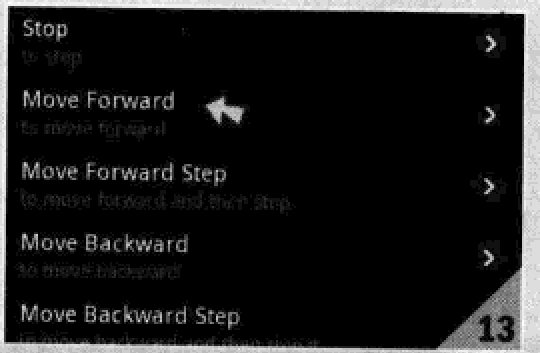


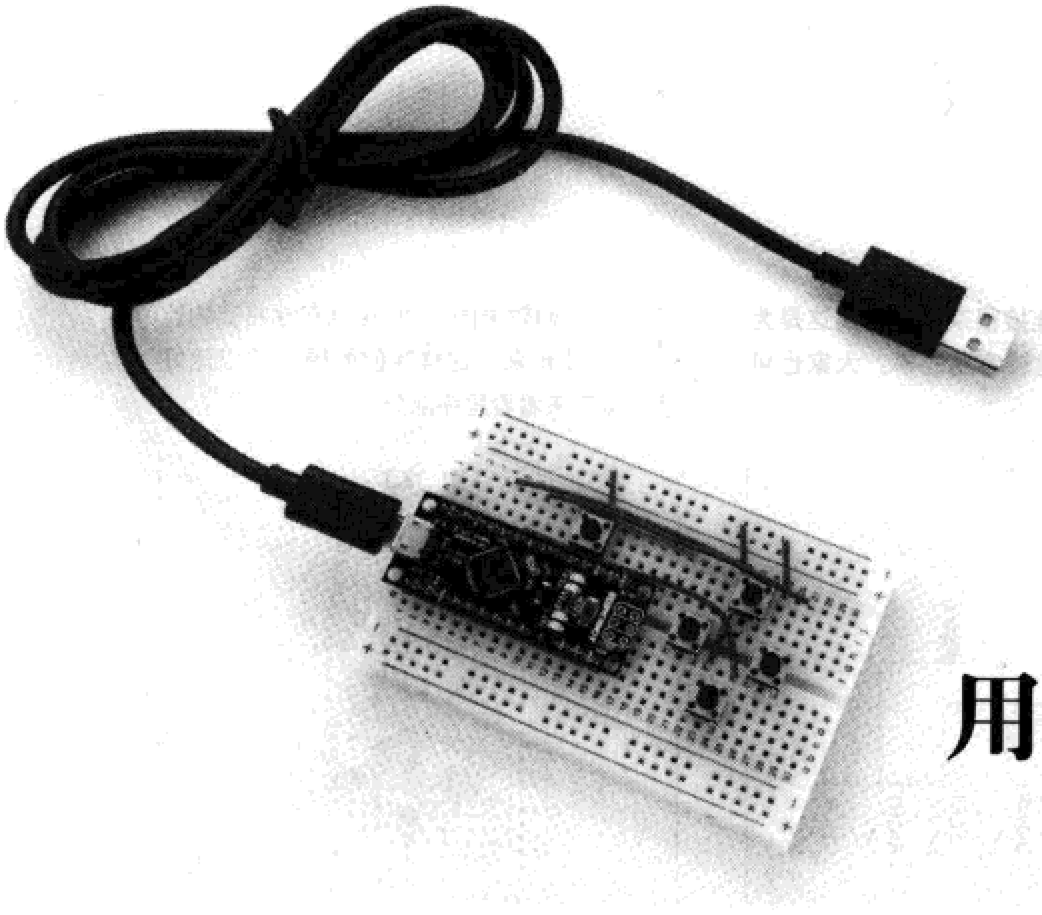
05 操作界面里一共有7个按键，左侧两个按钮控制左臂的上下运动，右侧两个按钮控制右臂的上下运动，中间的两个按钮控制手臂抬起与放下，最下面的大按钮是技能键，大家可以自定义一个技能。界面中并没有方向键，这是因为BOXZ的移动是通过手机的重力感应来实现的。顺便扩展一下思路，大家也可以用我们的Android客户端来做智能家居的开关灯管理。



06 如果大家需要自定义按钮，可以通过手机的菜单键调出控制面板，点击“Settings”，里面会有全部的按键设置（共计22个按键），大家可以根据需要进行调整。



下期将向大家介绍Android开发环境的搭建及BOXZ客户端代码的结构，敬请期待。



◇程晨

用Arduino自制鼠标

上个月，又有一个鼠标在我手底下阵亡了，作为一个DIY达人，我从盒子里拿出好几个不太好用的鼠标，准备自己攒一个。突然发现手边有一块基于Arduino Leonardo的小型控制板——DFRobot生产的Dreamer Nano，我早就看过资料知道Arduino Leonardo能当鼠标或键盘用，只是一直没机会尝试，正好就用这块控制板自己制作一个鼠标吧！

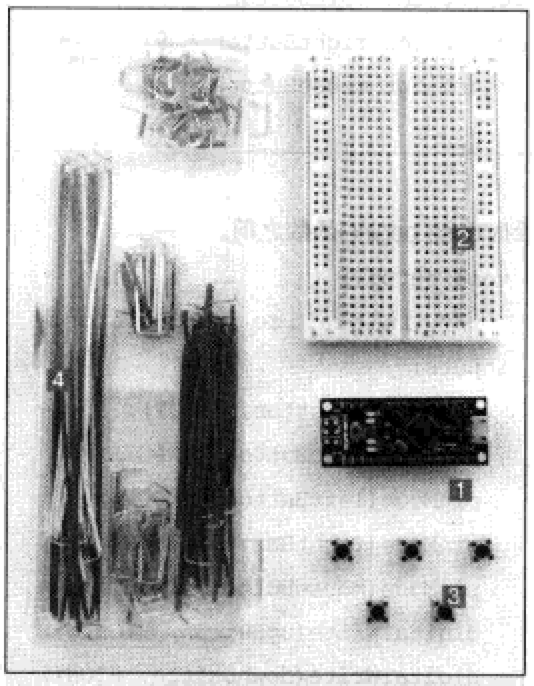


图1 制作所需的材料

1	Dreamer Nano或Arduino Leonardo	1个
2	面包板	1块
3	按键	5个
4	面包板U型线	1盒

制作鼠标要用的材料如图1所示，准备好材料后，就可以搭建硬件。Dreamer Nano（如图2所示）的核心是Arduino Leonardo，I/O接口采用Nano的形式，方便与面包板配合使用，USB接口采用带直插定位脚的Mirco USB插座。

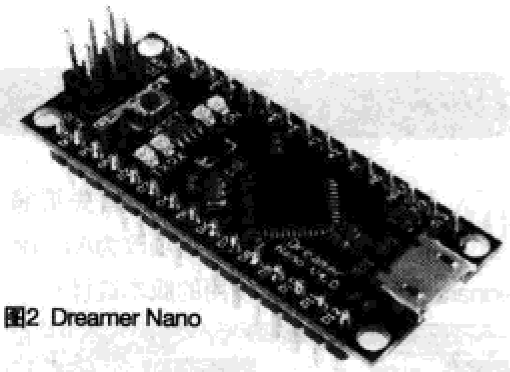
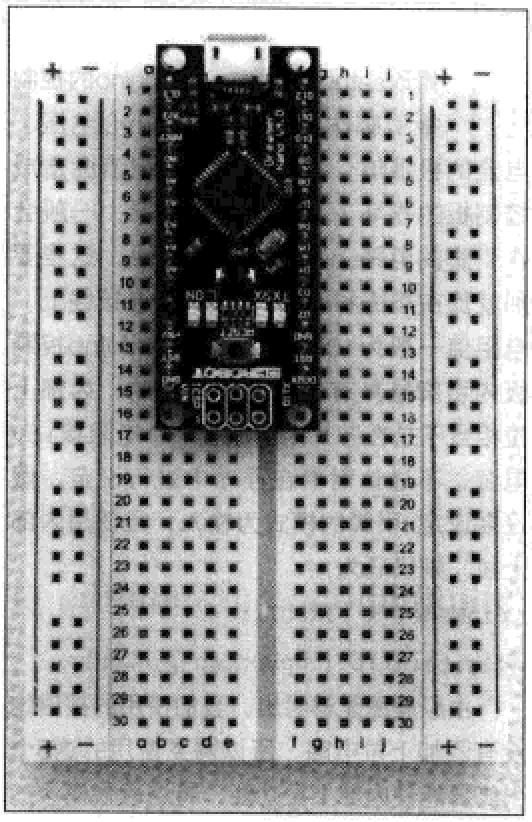


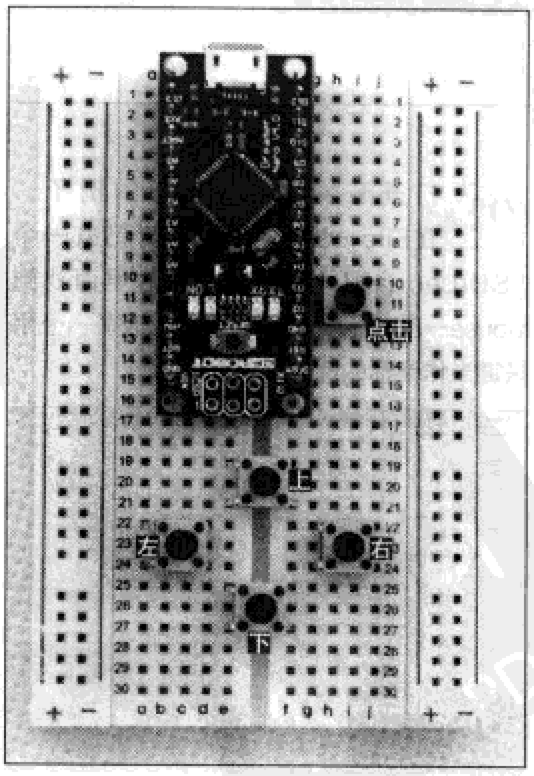
图2 Dreamer Nano

制作步骤

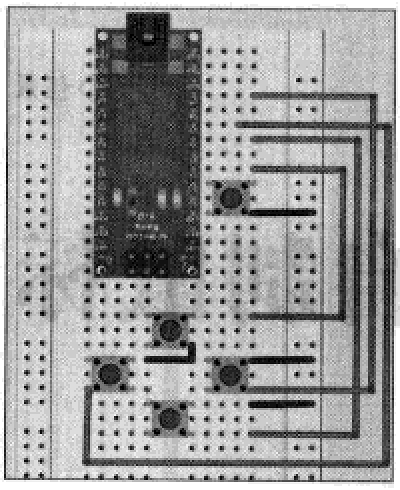
01 将Dreamer Nano插在面包板上，这里它的位置比较偏左，因为我们还将在其右侧添加一个按键。

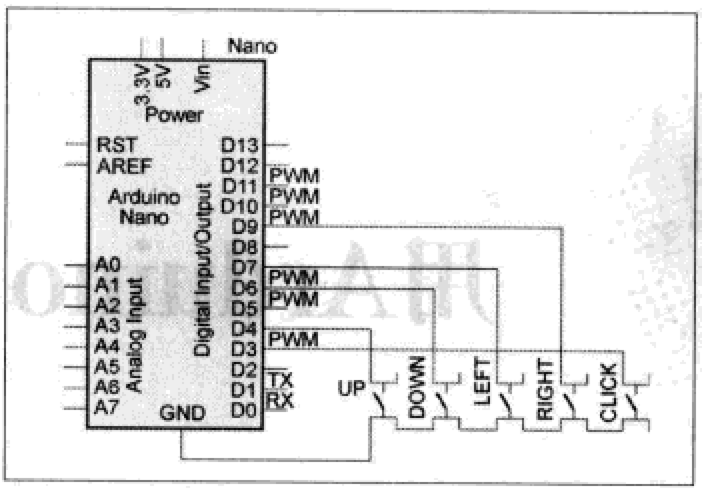


02 添加4个按键，摆成上下左右的样子，分别控制鼠标的上下左右移动。另外在控制板的右侧添加一个按键，作为鼠标左键，用来实现鼠标点击功能。

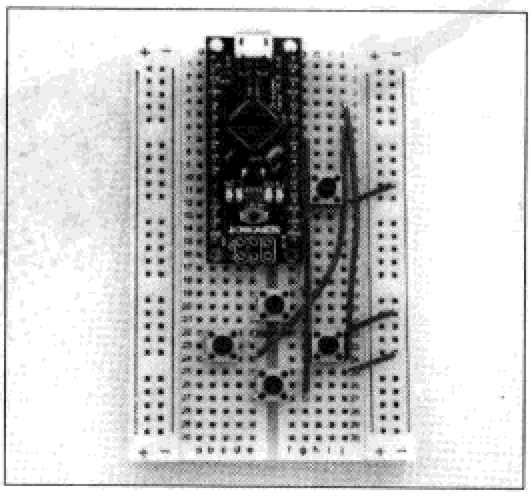


03 我使用Fritzing软件绘制了一个连接效果图，看起来按键的连接很杂乱，其实这是为了迁就U型面包线的长度才这么做的，反正改程序是一件比较容易的事。大家也可以将这些按键连接到其他引脚。



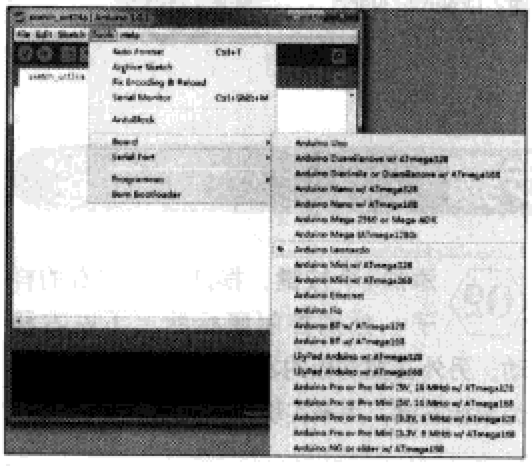


04 按照效果图，用U型面包线将实物连接起来。这样我们的硬件就搭建好了，接下来看看程序部分。

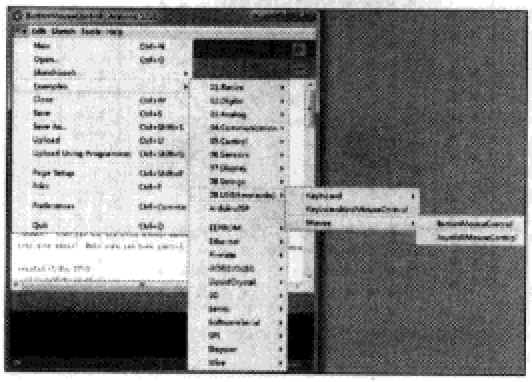


程序设计

01 打开Arduino开发环境，首先要将Tools菜单下的Board选项改为Arduino Leonardo（请根据你所使用的版本选择）。



02 打开开发环境中鼠标的例子，在File→Examples中专门有一个USB(Leonardo)的选项，在这里面找到Mouse→ButtonMouseControl。这是一个用按键当作鼠标的例子。



03 修改程序中的引脚变量。在原代码中，使用的是引脚2、3、4、5、6作为5个按键的输入。

```
// set pin numbers for the five
buttons:
const int upButton = 2;
const int downButton = 3;
const int leftButton = 4;
const int rightButton = 5;
const int mouseButton = 6;
```

这里因为本人在硬件搭建上偷懒的原因，所以使用的引脚有所变化，可根据原理图来修改这段代码，其中引脚4对应按键“上”，引脚6对应按键“下”，引脚7对应按键“左”，引脚9对应按键“右”，引脚3对应鼠标左键。

```
const int upButton = 4;
const int downButton = 6;
const int leftButton = 7;
const int rightButton = 9;
const int mouseButton = 3;
```

04 修改setup()函数。当Arduino的控制板引脚作为输入时，要小心电压、电流的极限值，过大的电压、电流会造成控制板的损坏。为避免这种情况，一般会在引脚的电路上加一个上拉电阻，这里要加就加在按键和Arduino引脚的连接线上，电阻值一般为10kΩ。但其实Arduino控制板内引脚是具有内部上拉功能的，内部上拉相当于是在芯片内集成了一个电阻接+5V电源，不过这需要在程序中进行设定。假设要设定x引脚的模式为输入，且使用内部上拉，则代码为：

```
pinMode( x ,INPUT);
digitalWrite( upButton , HIGH);
```

由原理图能够看出，我们使用的按键均没有添加上拉电路，所以需要使用的这5个引脚要能使内部上拉功能。将这段代码添加到Mouse.begin()函数之前。

```
void setup() {
  // initialize the buttons'
inputs:
  pinMode(upButton, INPUT);
  pinMode(downButton, INPUT);
  pinMode(leftButton, INPUT);
  pinMode(rightButton, INPUT);
  pinMode(mouseButton, INPUT);
  digitalWrite(upButton, HIGH);
  digitalWrite(downButton, HIGH);
  digitalWrite(leftButton, HIGH);
  digitalWrite(rightButton,HIGH);
  digitalWrite(mouseButton,HIGH);
  // initialize mouse control:
  Mouse.begin();
}
```

05 完成最后的调试。将修改完之后的代码下载到Arduino中，使用一下，我们发现鼠标左键总是处于按下的状态，通过阅读代码发现，这是因为程序中将引脚为高电平认定为鼠标按下。

```
if (clickState == HIGH)
{
......
}
```

而我们的硬件上，鼠标按下时引脚电平为高，未按下时引脚电平为低。大家可以直接使用“Ctrl+F”搜索“clickState == HIGH”这段字符，将其中的HIGH改为LOW。再下载一遍程序，我们的鼠标就完成了，和原来的鼠标合个影吧（见图3）。

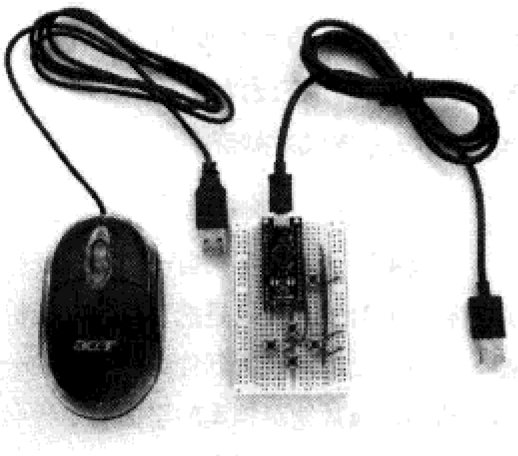


图3 自制的鼠标（右）与真正的鼠标（左）合影

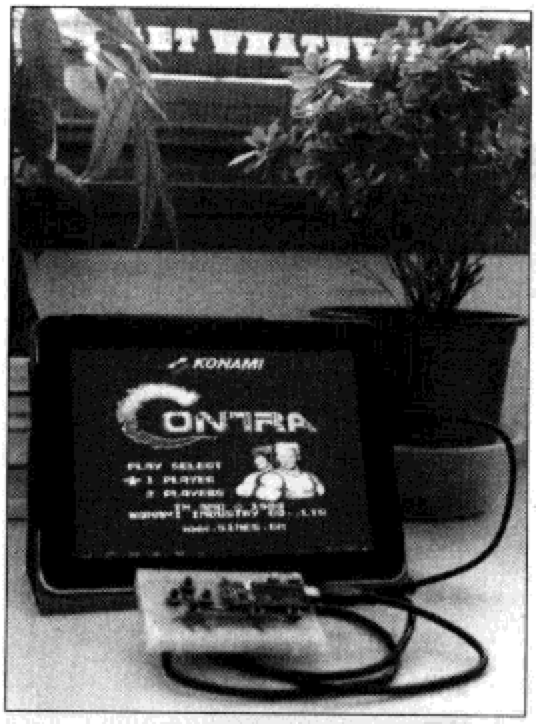


图4 同样的硬件还可以制作出游戏手柄

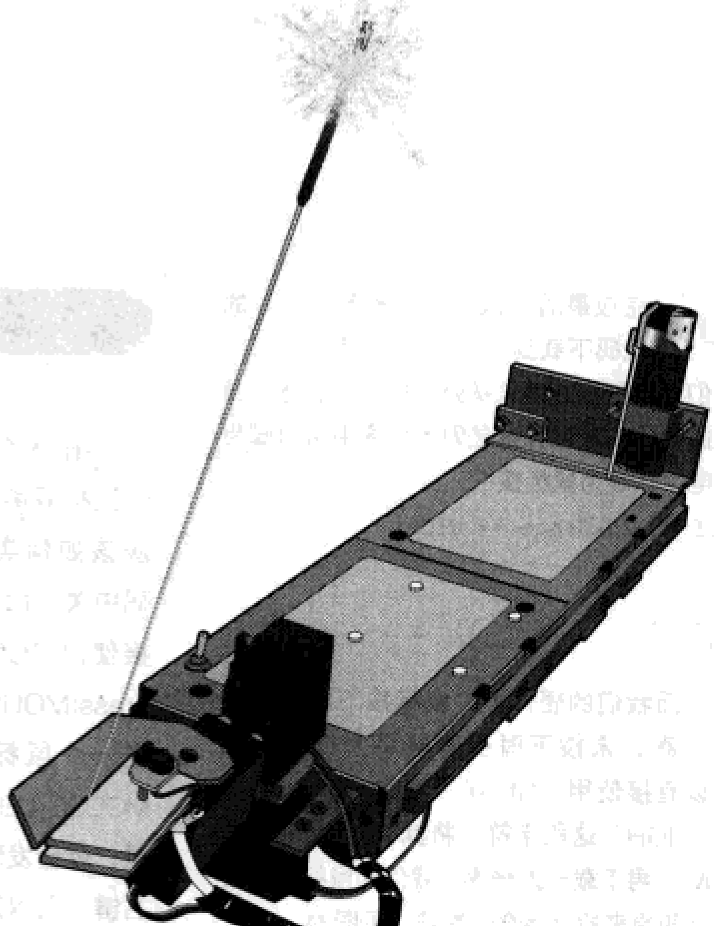
演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XNDY5MTI1OTUy.html

未来的功能扩展

细心的读者可能会发现，我们这个鼠标只能完成左键的功能，那么右键应该如何实现呢？请大家注意示例代码中关于MOUSE_LEFT的部分（可以直接使用“Ctrl+F”搜索），比如Mouse.press(MOUSE_LEFT)实现的功能就是发送一个鼠标左键按下的信息。我们将MOUSE_LEFT全部换成MOUSE_RIGHT试试，就会发现原来的鼠标左键变成了鼠标右键，所以只需要在硬件上再添加一个按钮，并在代码中使用MOUSE_RIGHT这个定义，就可以实现鼠标右键的功能了。

另外，在示例程序中可以看到还有JoystickMouseControl、Keyboard以及KeyboardAndMouseControl等例子，有兴趣的话可以自己试试，比如找一个摇杆来制作一个摇杆式的鼠标，或者用Arduino制作一个游戏专用手柄等。下图就是本人利用安卓平板电脑、Arduino、按键以及面包板制作的一个老式任天堂游戏机，现在正在玩的游戏是经典的《魂斗罗》。更多的乐趣期待大家去发现。

火神——打造自己的数控焰火



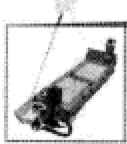
◇臧海波 ◇插画：刘少冉

作为一个实用机器人，题图里面的这个“坏家伙”可以通过自动或遥控的方式燃放手持烟花。作为一部多自由度机器人（4自由度），它的结构比我以前制作过的9自由度的机器乌龟和20自由度的6足机器人要简单得多，但是它有一个最大的优点——实用！试想你所创造的一部机器可以漂亮地执行编排好的工作，它所带来的乐趣将是多方面的，既有你在设计和制作过程中的乐趣，也有遇到难题并将其解决的乐趣，更重要的是，可以感染周围的人，让更多的人体会到机器人技术的神奇。

很多人都抱怨业余机器人没什么实用价值，想一想也确实是这样——除了我们这些爱好者们“以科学的名义”摆弄摆弄这些小零件，离开了实验室就基本做不了什么了……其实，你马上就可以给机器人分配一点任务，让它们也可以好好表现一番。

火神的灵感来自手持烟花，手持烟花是一种比较安全的焰火，燃放简单，观赏效果好，“过火”面积小，甚至小孩子都可以操作。既然这么简单，那么就把一部分工作交给机器人好了。

这个机器人的执行机构包括两部分，一个是大家都已经很熟悉的机器手，另一个是点火装置。它的操作很简单：把烟花递给机器人，剩下就是看机器人自己表演了。“火神”这个名字来自一篇小说，最开始制作的时候，我只是把它称为烟花机器人，快完工的时候听到仲维维播讲的一篇惊险小说《敖德萨档案》里面有个代号叫“火神”的人物，觉得这个名字和这部机器人很贴切，于是给它起了这个名字。这是我第一次给机器人起名字（之前都是按功能笼统地称呼），所以多写一笔。



火神的制作

注意：这个项目涉及明火，制作和使用中千万要注意安全。

零件：

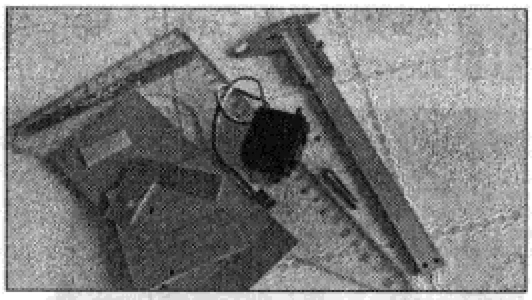
- >> 2mm 厚铝板，边角料就可以，只需要很小一块
- >> 2mm 厚环氧树脂板，要求同上
- >> 2mm 厚铝条，要求同上
- >> 1mm 厚 5052 铝板，要求同上
- >> L 型铝材，要求同上
- >> 车条，一根
- >> 一次性打火机，一个
- >> 洞洞板（可选），一小块，实际使用 4×3 个孔
- >> 底座，任何有一定分量的阻燃材料制作的底座
- >> 舵机，对扭力有一定要求，建议 13kg 以上的金属齿舵机
- >> M3 螺丝、螺母、垫片，适量
- >> M2 螺丝、螺母、自攻螺丝，适量
- >> 尼龙扎带，适量
- >> 舵机控制板，见下文说明
- >> 反射式红外线传感器，见下文说明
- >> 电池、充电器，一套
- >> 开关，一个
- >> 微波炉铝箔，适量
- >> 绕线管（可选），一小段

工具：

- >> M3.2 钻头、台钻
- >> 卡尺、画线笔、钢尺
- >> 电刻笔（可选）
- >> 十字螺丝刀
- >> 焊接工具
- >> 尖嘴、斜口钳
- >> 钢锯、台钳、剪刀、平口钳
- >> 锉刀

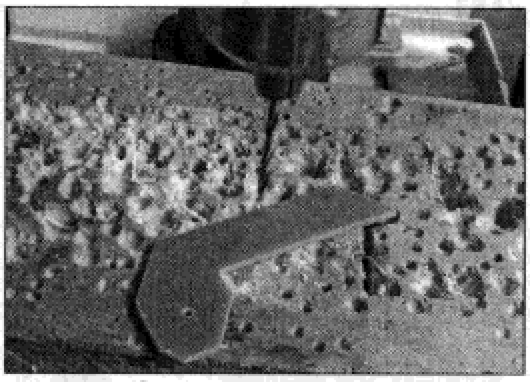
机器手的制作

1 火神的机器手非常简单，分为两个部分，一部分是夹持器，另一部分是一个2自由度的手腕。首先制作夹持器部分，由于夹持器所需的材料都是很小块的，可以使用其他项目里剩下的边角料。

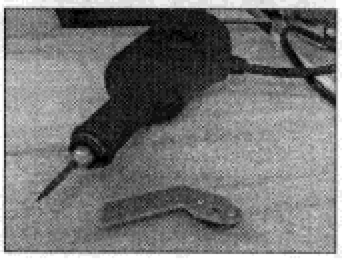


2 制作夹持器夹子部分的静片。为了获得比较牢靠的夹持效果，我采用的是双层结构。静片和舵机是等宽的，直接安装在舵机的“耳朵”上，对外形没有严格要求，读者可以自由发挥。

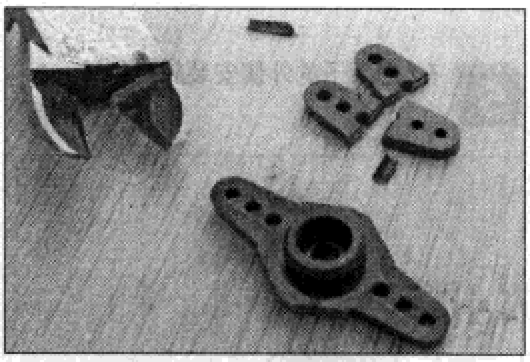
3 制作夹持器的动片，并安装在舵机的输出轴上。这是一个近似L形的零件，如果觉得这个形状不好加工，可以把铝板换成环氧树脂板。



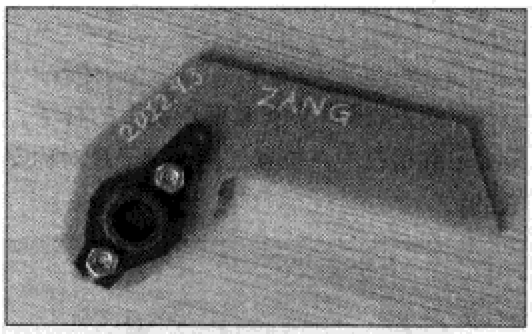
4 这是个可选步骤，用电刻笔给夹子打个标记。电刻笔是一件适合懒人的好工具，配上钨钢笔头，基本可以在任何材料上做标记。



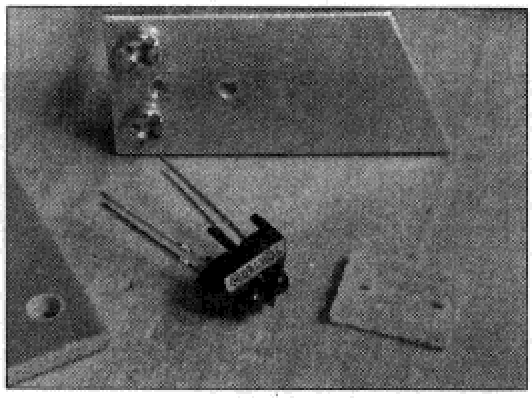
5 舵机的摇臂需要适当地修剪一下，使它恰好能安装在动片上，不会有多余的部分。



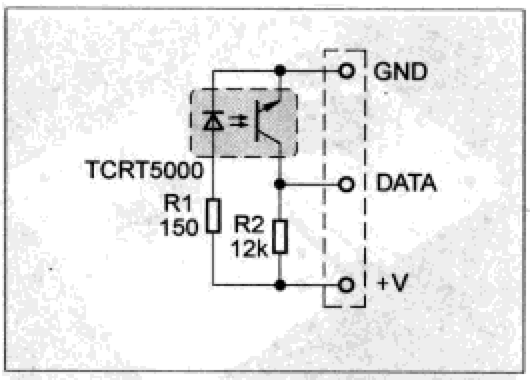
6 在动片背面安装好修剪后的摇臂，这里能看清用电刻笔做的标记。

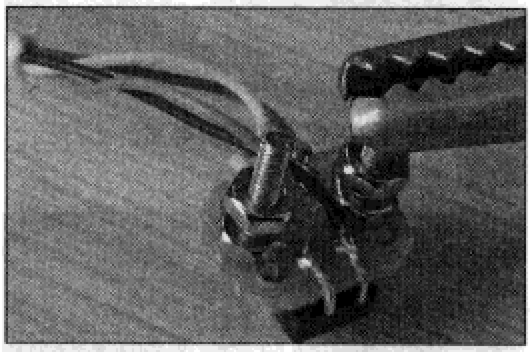


7 如果想制作全自动的机器人，需要在静片的外侧安装一个反射式红外线传感器。

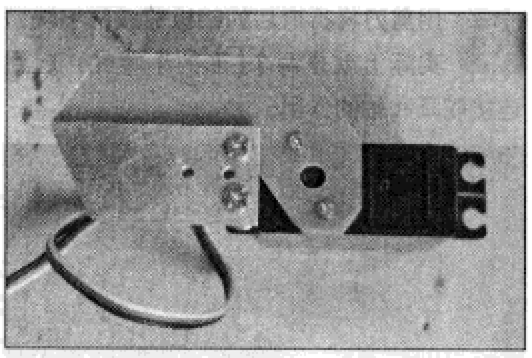


8 将传感器焊接在一小块3×4的洞洞板上，我在机器人上安装的红外对管是TCRT5000，电路如图所示。

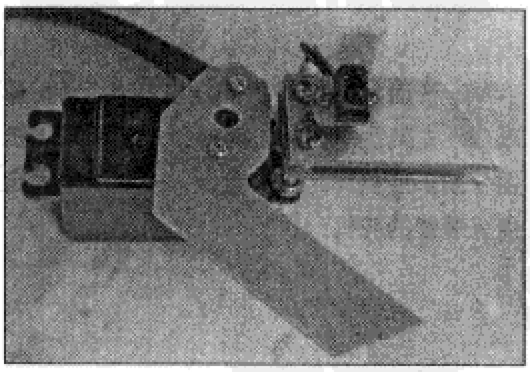




9 组装好的夹子如图所示，两片静片固定在舵机耳朵上，有一定间隙，动片可插入间隙内。

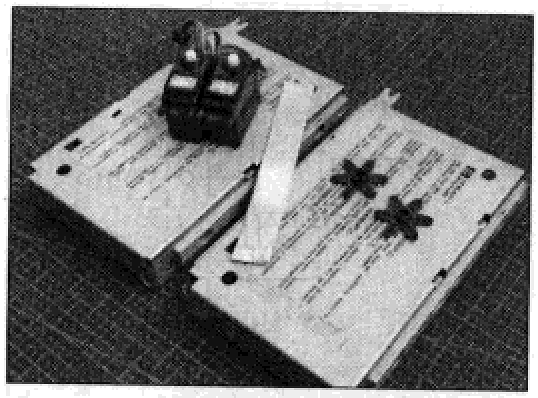


10 这是夹子安装好传感器的样子，从这个角度可以看出动、静片的配合方式。

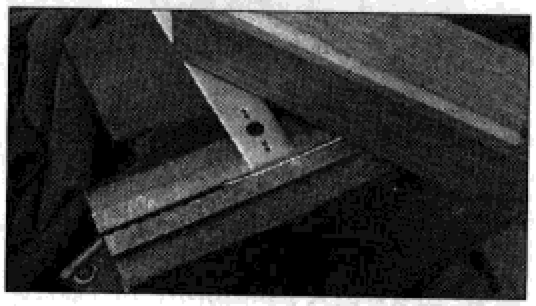


手腕部分的制作

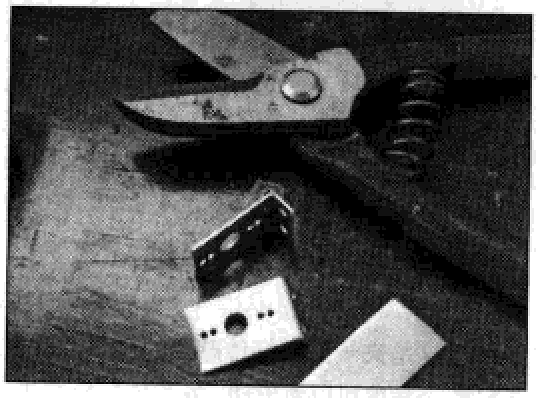
1 手腕由两个关节构成，固定在底盘上。我用的底盘是一对服务器硬盘的壳体。



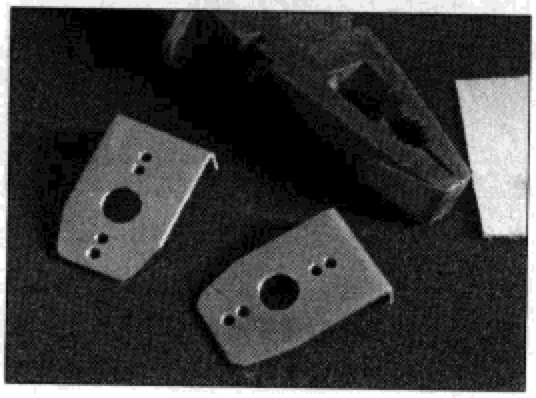
2 在5052铝板（和舵机等宽）上打孔，然后在台钳上折弯。



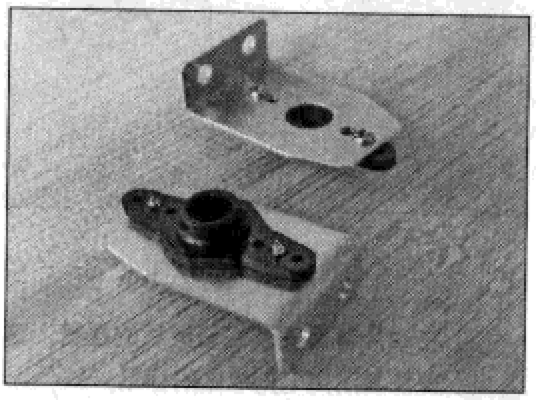
3 用剪刀将折弯后的铝板剪成两小块，实际上就是两个L形的小零件，起到连接舵耳和轴的作用。



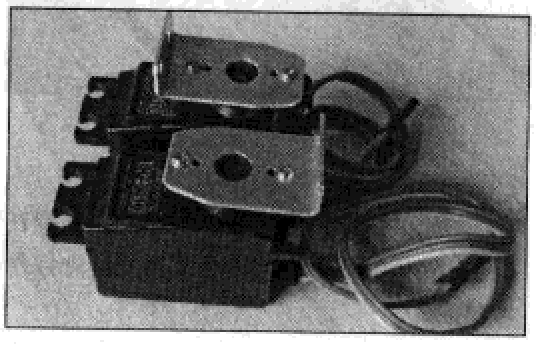
4 铝板剪切后会有一点卷边，用平口钳和砂纸稍微修整一下。



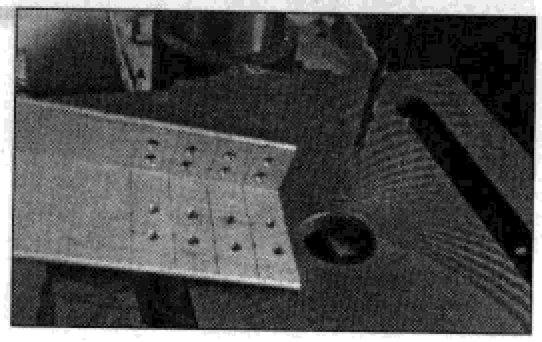
5 在L形架子的外侧安装舵机摇臂。



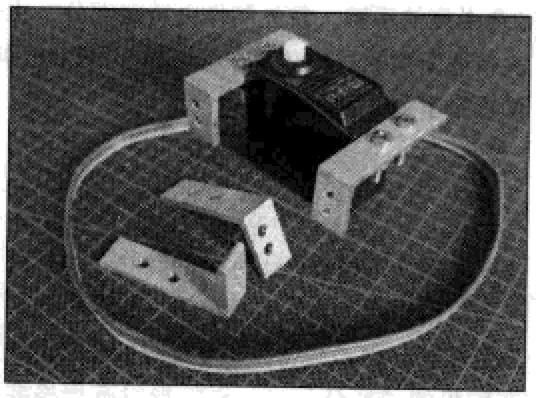
6 这是L形架子安装在舵机上的样子。舵机在中点位置，两个架子是对称安装的。



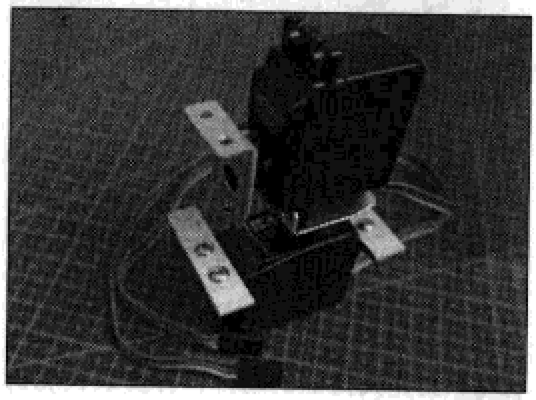
7 下面加工把舵机固定在底盘上的L形支架，需要加工两对。一对用来将机器手腕部舵机固定在底盘上，一对用来固定点火装置的舵机。



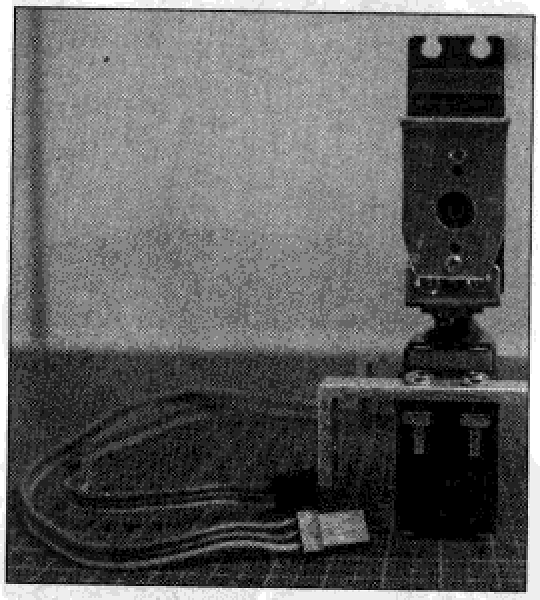
8 舵机与L形支架的安装示意图。



9 把手腕部分的两只舵机组装在一起，这是一个典型的XY关节。

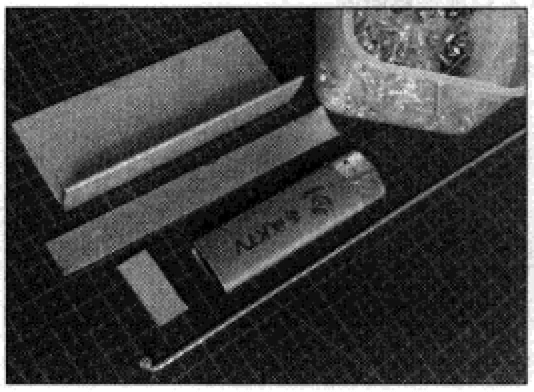


10 从这个角度可以看清XY关节两个舵机的关系。

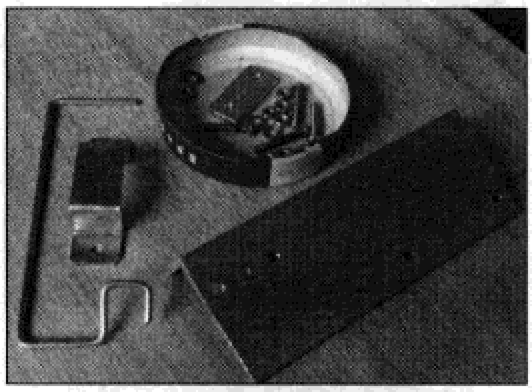


点火装置的制作

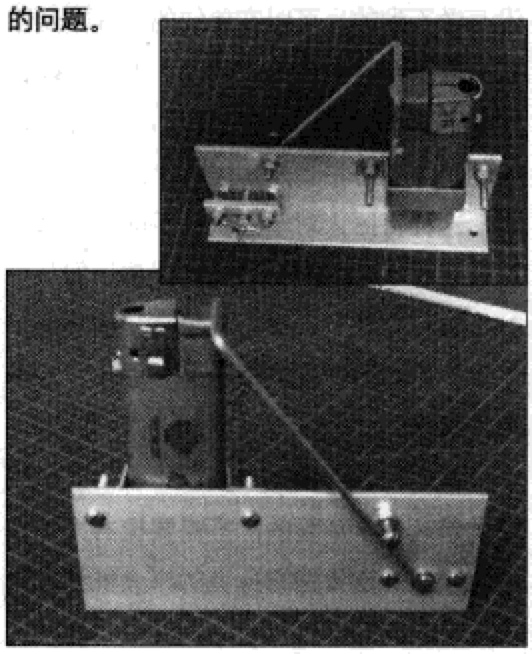
1 这是一个简易的拉线式点火装置，火源就是一个常见的一次性打火机。



2 用车条、L形铝材和1mm厚的5052铝板加工出点火装置的零件。

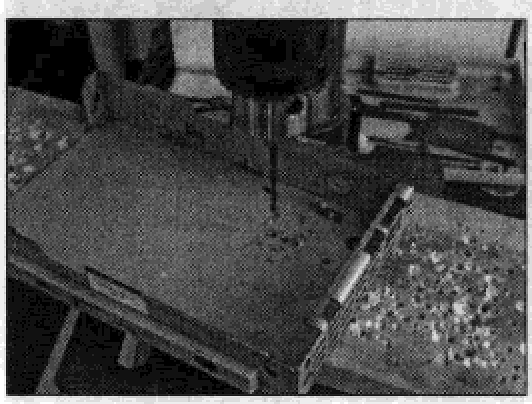


3 其实，这个点火装置也可以看成一个机器手，固定打火机的那个Ω型的卡子好比是一个握拢了的手掌，负责压下打火机的车条好比是大拇指。另一侧可以看到一个限位螺丝，防止车条过度复位，产生脱出的问题。



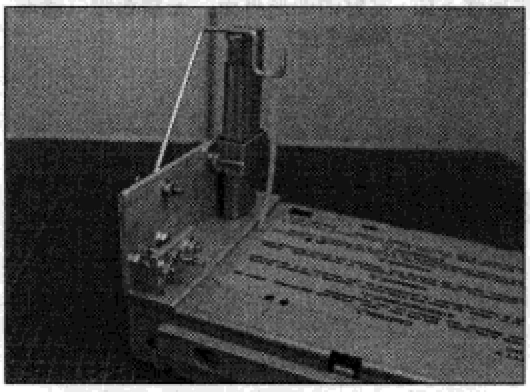
加工底盘

1 因为手持烟花比较长，所以我把两个硬盘的铁壳体连接起来，一侧安装机器手，一侧安装点火装置。在相应位置打好安装孔，把两个壳体连接在一起。

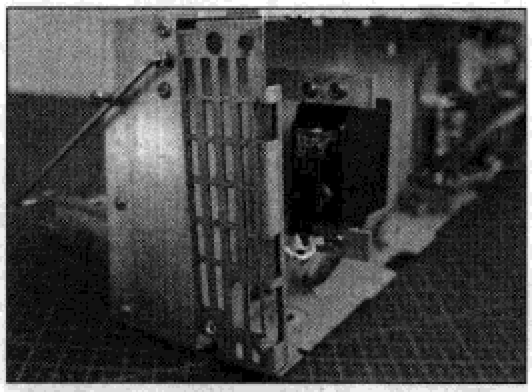


总装

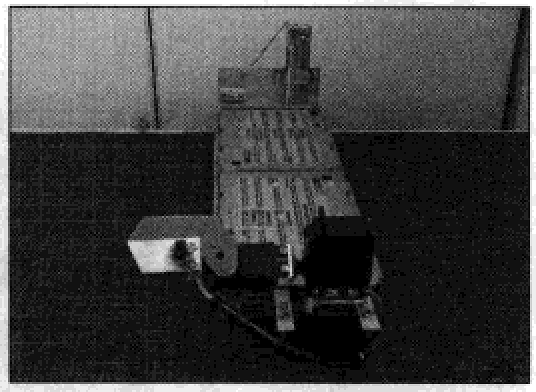
1 把点火装置安装在底盘的一侧。注意车条末端连接着一条伸入底盘内部的尼龙扎带。



2 伸入底盘里面的尼龙扎带固定在点火舵机的摇臂上，这个结构有点像老式电灯的拉线开关。



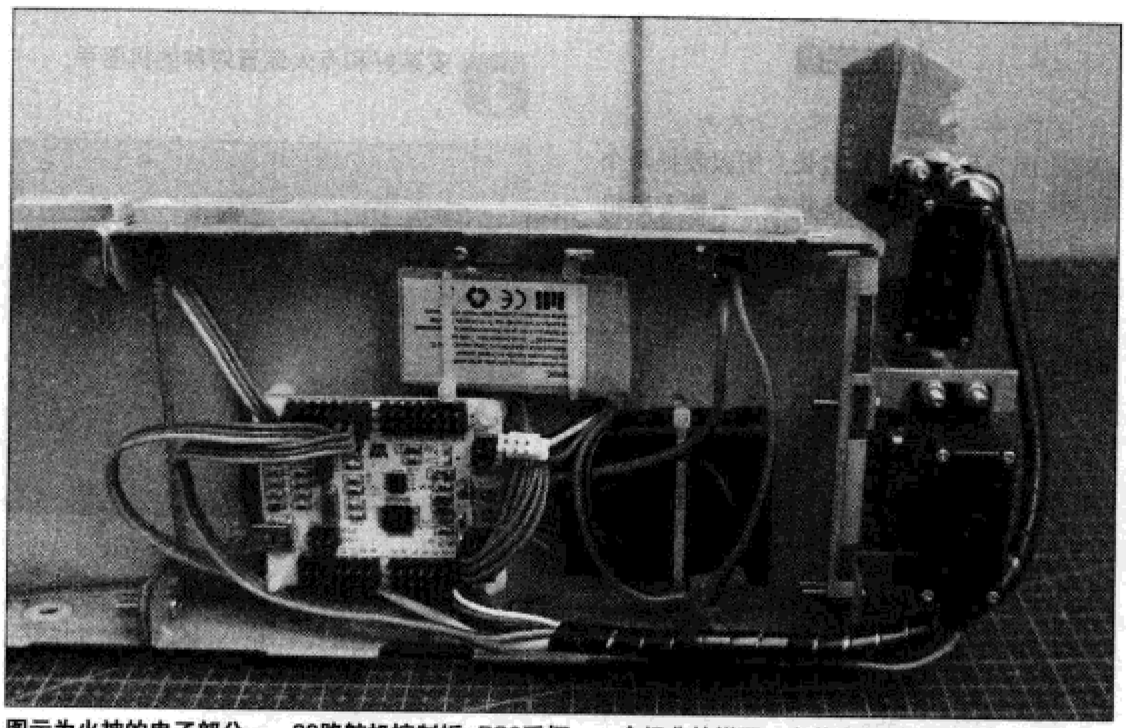
3 安装好和点火装置对称的机器手。



因为只有4只舵机，火神的控制部分比较灵活，可供使用的方案有3个。这3个方案的特点如附表所示。

按照目前的市价，这3个方案的造价比差不多是1：10：20。Arduino编程环境基于的C语言国内用户群比较大。PICAXE和BASIC stamp的环境是基于一种特殊的BASIC语言的，芯片内置了解释程序。这3种单片机开发板的特点是编程比较方便，比对单独芯片进行底层编程要简单，适合业余爱好者。当然，控制舵机最强有力的硬件还是舵机控制板，只是舵机控制板一般是不能直接连接传感器的，需要外挂一个主控。对于这个项目，为了简化制作，我采用了舵机控制板的结构，4个舵机（严格说是两个，就是手腕的XY关节舵机）是按照预定义的编组控制的，组和组之间的切换通过遥控操作。夹持器和点火舵机都是通过PS2手柄的摇杆操纵的，也就是说，夹取烟花和点火是远程手动控制的。

如果使用单独的单片机，可以设置成一路输入I/O采集红外线传感器的信息，当传感器检测到物体时，就打开夹持器夹住烟花，然后让XY关节的两个舵机和点火舵机协同动作，完成点火操作，建造出全自动的“火神”。因为单片机控制的舵机数量比较少，可以忽略时序等问题。



图示为火神的电子部分——32路舵机控制板+PS2手柄，一个经典的搭配，之前我制作的机器乌龟和6足机器人也采用相同的结构。

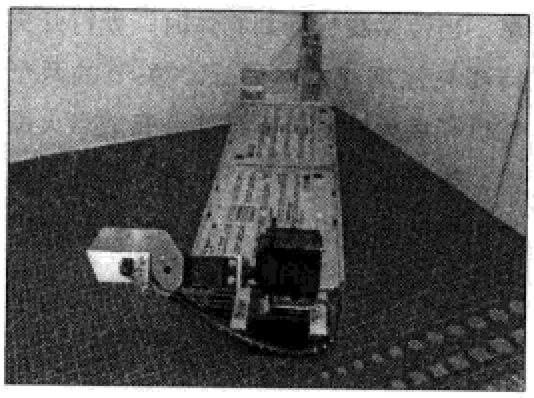
附表　3个控制方案

方案	名称	造价（元）	优点	缺点
1	独立的单片机	9	造价低，扩展性好	需要底层编程
2	Arduino、PICAXE、BASIC stamp	90	造价适中，扩展性好	编程环境优于方案1
3	舵机控制板	180	造价高，扩展性不如前两个	友好的图形界面，无需编程（除非外接主控）

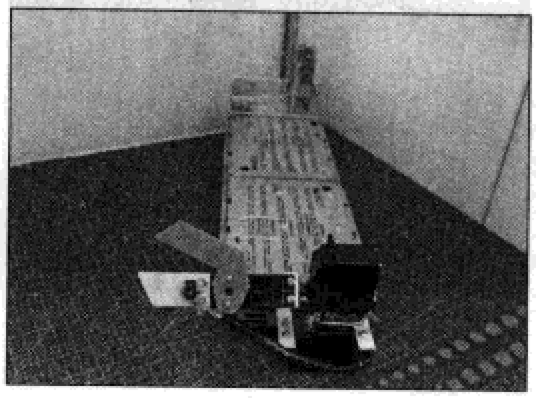
火神的效果

下面4张图片大致说明了火神的操作过程，依次为：待机、夹取、进料（把烟花送到点火装置并点燃）、挥舞，最后还有个释放。为了使图片看起来清晰，火焰是用Photoshop的镜头光晕滤镜做的特效，特此说明。

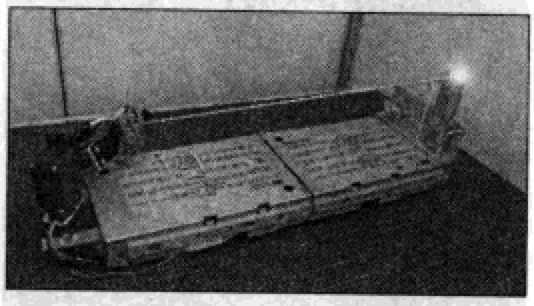
1 火神的等待状态。



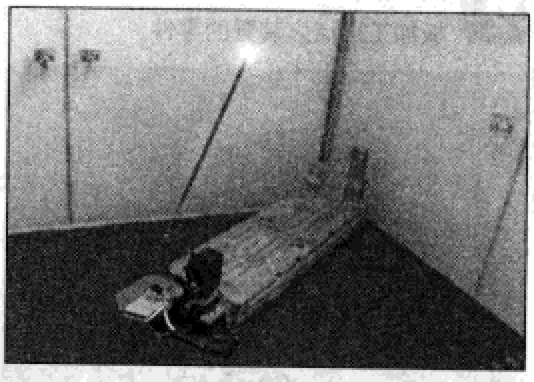
2 打开夹子。这个步骤是遥控操作的。



3 机器手给点火装置送料，点火装置启动。注意这个动作组需要有一定的延迟时间，以保证烟花可以点燃。在我的这部机器里，夹取和点火都是遥控操作的，可以直观地调整时间。



4 机器人将烟花送到前侧，并左右挥舞，烟花燃尽时释放。



结论

这个项目意在给读者提供一个思路，给机器人安装上不同的执行器可以让它们执行千奇百怪的任务，只有你想不到的，没有做不到的。可以在单纯的循线、避障和夹取东西这类传统的挑战上加以发挥。

这是一个既实用又好玩的项目，最大的受益者恐怕就是家里的小朋友了。无疑，这种机器人对于喜欢动手的小家伙们可是有着致命的吸引力呀！让孩子们从小就接触和喜欢上这类“高科技”的玩意，激发他们对科学的热情，是一件让我最得意的事情。

最后再次声明：“授权”机器人操纵明火是有一定危险的。不需要机器人工作的时候，一定要把它身上的打火机和电池统统没收！

基于STM32控制器、μC/OS-II操作系统

通过手势控制的体感音响

◇汤志强

在一些科幻电影中，我们经常能看到人们用手指在空中划动几下就可以控制一台机器。现在我要介绍一款音响，它不是一台普通的音响，而是一款能感知手势的音响。没有开关，没有按键，甚至连一个音量控制旋钮都没有，完全通过探测你的手势来实现开/关机、音量的增/减等操作。

你一定想知道它是怎么工作的，原理其实很简单，就是使用传感器来测量手与机器的距离，根据不同的距离来控制音响，整个系统的构成如图1所示。当然这是一维探测，如果有两个传感器水平放置，通过计算两个传感器与手的距离差就可以进行二维控制。

材料准备

□ 测距传感器

目前市面上比较流行的测距方法有3种：无线电测距（也就是常说的雷达）、激光测距和超声波测距。无线电测距在这里显然不行，我们的测距探头要求达到毫米级的精度，而且长时间的电磁辐射会对身体造成伤害。至于激光测距，探头通常造价不菲，另外过强的激光束可能伤害到眼睛。因此，最合适的要数超声波测距了。超声波只是发射出听不见的声音，精度可以保证，还存在盲区小的优点，不会发生手晃动一下，传感器就失去目标的现象。

为了简化硬件设计，最好购买现成的模块，实物如图2所示。

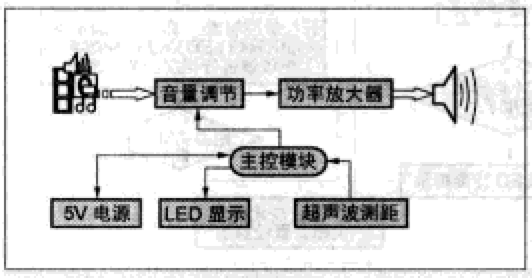


图1 体感音响的系统构成

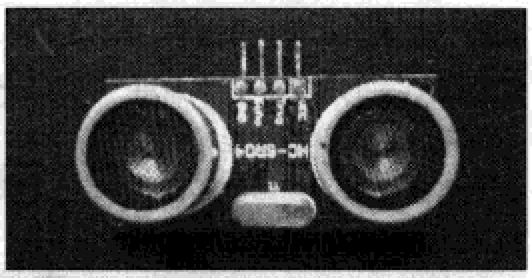


图2 超声波测距模块

□ 中央控制器

过去，51内核的单片机牢牢地占据着微控制器市场，直到现在也是初学者入门嵌入式系统的绝佳选择。然而任何事物都有一个生命周期，51内核的“先天不足”越来越明显。CISC的复杂架构使芯片门数增加，从而导致功耗高，时钟频率难以提高。RAM、ROM容量普遍偏小，使其很难运行嵌入式实时操作系统，导致研发周期加长。从目前的形势来看，以ARM公司Coretex-M3为内核的STM32系列微控制器最合适不过了。以STM32F103RBT6芯片为例，仅十余元的价格，就带来很多令人兴奋的配置：最高72MHz的时钟频率，带有USB2.0、I^2C、USART、SPI、IIS、CAN等接口，拥有128KB的片内Flash、20KB的RAM，拥有49个I/O口（GPIO）、8个定时器，20mA的灌电流直接驱动LED……最主要的是，可以运行μC/OS-II等流行的嵌入式操作系统。其资料也相当齐全，在网上可以找到很多开发板，有的不但附赠很多源代码，甚至还提供视频教程、配套书籍等。因此，不管你是老手还是新手，都是很值得一学的。

为了节约电路板面积、提高性能，目前大部分芯片都采用了贴片封装。这或许会给手工焊接的质量提出更高的要求，不过购买最小系统模块也是不错的选择，虽然稍微贵点，但是硬件性能能得到保证，使我们不用总是做一些重复性的劳动，而是把精力集中在软件的编写上。已经包含最小系统的RBT6模块如图3所示。

□ 放大器与数字音量电位器

同样，为了简化硬件，放大器仍用现成的模块，如图4所示。现在的音频放大器模块种类很多，具体规格就要看你自己的喜好了。我选用的是一款功放芯片为TEA2025B的3W双声道模块，其增益可通过微调电阻调节，+5~+12V供电，用来做电脑的桌面音箱已经足够了。

至于音量调节电路，就需要自己动手制作了。我选用FM62429作为音量调节模

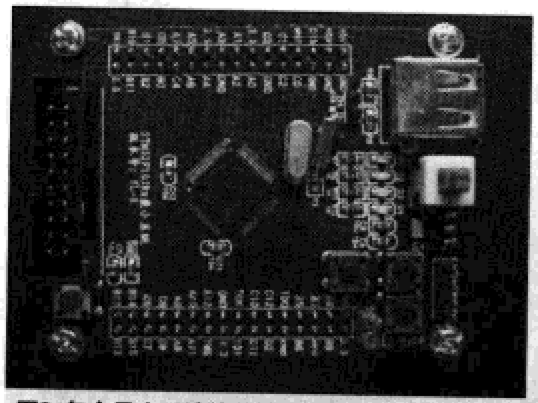


图3 包含最小系统的RBT6模块

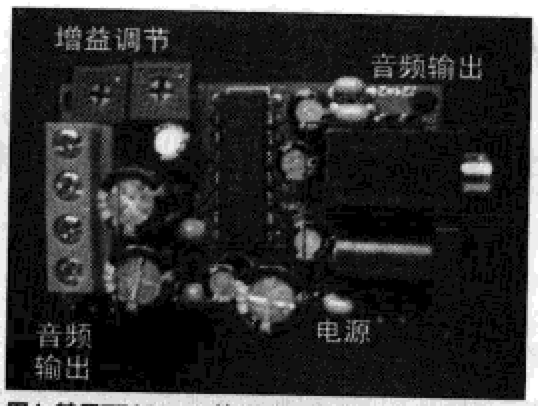


图4 基于TEA2025B的放大器模块

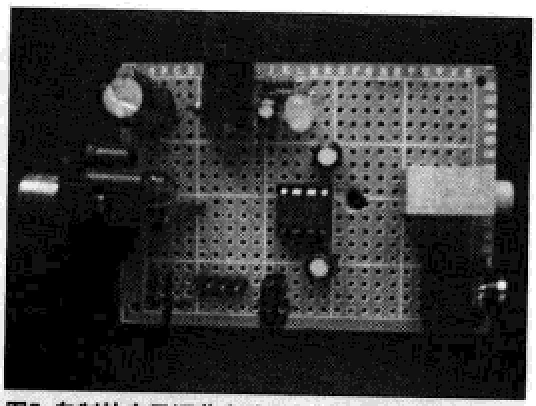


图5 自制的音量调节电路

块的核心，完成后的实物如图5所示。其制作过程我会在后面详细介绍。

□ 其他

另外还需要LED若干、万用板2片、一些常用的接插件、线材以及焊接工具等，具体就不多说啦，相信DIY爱好者一定早有准备。

软件：前后台还是操作系统?

在我学习μC/OS-II嵌入式实时操作系统时，看到过一句话，大致是这样的：当你学会使用操作系统，就再也不想回到前后台的开发方式。这不禁让我想起当初学汇编和C语言时，一开始总是在想，学会了汇编是不是还有必要学C语言，但当我学会了C语言，就再也不想转回汇编语言开发程序。使用操作系统到底有多少优点，我不想多说，这需要自己去实践。我想说的是，有很多知识，我们并没有意识到是需要的，直到我们学会了并且应用了。

常用的嵌入式操作系统有很多，比如大名鼎鼎的VxWorks、当前手机使用最多的Android，以及通过美国航空管理局认证，已经应用在“好奇”号火星车的实时内核μC/OS-II等。在这里我使用μC/OS-II，主要考虑到它源代码开放、结构简单、在国内比较流行，而且有大量的学习资源及代码。

嵌入式软件系统的基本模型如图6所示。当然，并不是所有软件系统都完全遵循这一模型。然而对于大多数嵌入式设备来说，采用这种层次结构来开发整个系统的软件，具有很强的可操作性和可维护性。

软件原理

□ μC/OS-II基于任务（task）的软件设计方法

简单单片机系统如图7所示，这种软件设计方法将所有代码放在一起，代码层次概念不清晰，且功能简单，因此仅适用于小型系统。

μC/OS-II操作系统下基于任务的软件设计方法则不同。基于操作系统的软件开发抛开了对硬件资源的管理，而将硬件资源的管理交给操作系统，这使得代码的层次关系很清晰。同时，对某个任务的响应时间可以由操作系统控制，从而提高程序的执行效率。

□ 控制方法

在讲代码之前，我们要先明白让程序干些什么。其实我们要实现的功能很简单——开机、音量增、音量减，但是要知道，探测器探测的距离不一定总是到手的距离，它本身并不具备人手识别的功能，只是探测离它最近的物体的距离。也许你在走路的时候会无意间触发其控制程序，出现不想要的结果。因此我们就要有一个“距离开关”，只有达到特定的距离才能被打开，从而使控制有效。

在本程序中，我采用下限距离法和LED渐亮指示法。先设定一个下限距离，比如5cm。当探测的距离大于或等于5cm时，不进行任何动作，当探测的距离小于5cm时，第一个LED由灭渐渐变亮，此过程大约持续2s，如果在这2s内，探测的距离一直小于5cm，那么就打开电源或音量控制开关（流程图见图8）。

之所以这样，是因为如果音响放在桌面上，它离桌面边缘通常会有一定的距

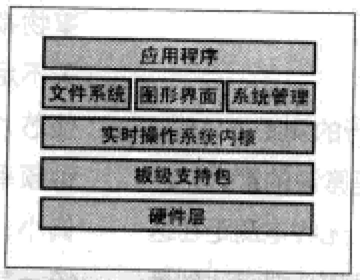


图6 嵌入式软件系统的基本模型

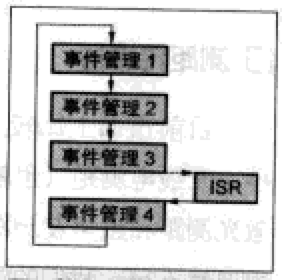


图7 简单单片机系统

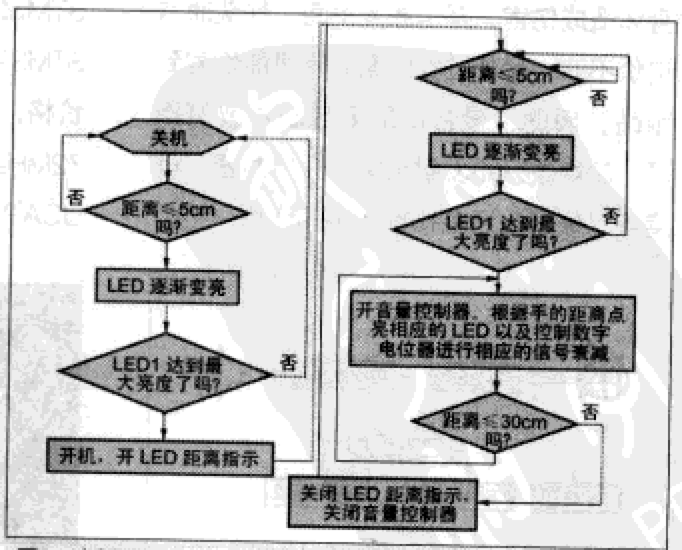


图8 流程图

离，身体自然会大于这个距离，这样便避免了测错目标。加上2s的渐亮延时是因为手可能会在不经意间进入其临界距离，由于声音传播的速度太快，如果不加延时，便会产生误动作。这就像我们设计键盘扫描程序一样。

图8中的流程只是一个思路，实际的代码分在不同的任务中，在后面我会详细讲解。另外，音量控制是这样的：有5个LED用来显示由近及远5个不同的距离。超声波测距模块的有效距离为30cm，这样我们可以把距离分成6份，每份5cm，每接近5cm，点亮一个灯。如果距离大于30cm，则认为音量设定完毕。

实际操作时是这样的：假如希望音量衰减为10dB，而当手移动至第二个灯亮时即为音量衰减到10dB，这时可以将手水平移动到探测距离之外的盲区，音量控制开关会关闭，而音量一直保留在10dB，LED灯也会全部熄灭。

□ 体感音响的软件部分

整个软件由10个文件夹、29个C源代码文件组成，如图9所示。不过不用害怕，有很多都是操作系统代码，没必要理解每一行程序，只需要知道重要函数的用法即可。真正需要自己写的代码，其实只有iCode文件夹中7个与硬件相关的C语言驱动程序以及APP文件夹中名为app.c的应用程序。其他的代码很少需要修改甚至不用修改。

重要部分在app.c文件中，此文件有启动操作系统的main函数，各个任务的建立及运行函数，如图10所示。在我们自己编写的所有代码中，有5个文件是操作芯片的外部设备的：VoiceVolume.c控制数字音量电位器，Capture.c控制雷达模块，Led.c控制距离指示LED，pwm.c利用脉宽调制控制LED亮度、启动电源及音量控制开关。另外还有sys.c和timer.c，这两个文件主要是对芯片内部的配置，比如配置中断向量表、定时器等。在实际调用这些代码时，通常会建立与.c文件同名的.h文件。.h文件包含函数的声明、全局变量的声明。在调用的时候，也是用#include命令包含.h文件的。

μC/OS-II是基于任务的，每个任务都有唯一的优先级。优先级不但代表了这个任务优先运行的程度，还是任务的标识。在μC/OS-II中，优先级的数值越小，其优先程度越大。

一个任务的形式通常如下：

```
static void任务名 (void *p_arg){
  p_arg= p_arg; //避免警告
  while(1){
      用户代码………………        }
  OSTimeDlyHMSM(0,0,0,10);
  }
```

每个任务都必须有一个死循环，在循环的末尾会有一个延时函数。当一个任务进入延时函数后，此任务便由运行态转为挂起，从而让优先级次低于它的任务执行。虽然从微观角度看，这些程序仍然是顺序执行的，但由于每一任务的用户代码执行得非常快，因此看起来像是同时运行。

p_arg为任务函数的参数，如果不使用，编译器会发出警告。因为我们用不到它，又为避免难看的（但不影响程序正常运行）警告所以会加上“p_arg= p_arg;”。

任务执行时，有时需要进行任务间通信。μC/OS-II支持信号量、邮箱和消息队列。在这里，我们要将AppRader任务计算的距离值传给LED指示任务AppLedIndicate、亮度调节任务AppPWM以及音量控制任务AppVoiceControl，使用邮箱来传递。我们用OSMboxPend函数阻塞式读取数据，也就是说，只要没有收到数据，此函数所在的任务就一直处于挂起状态。

□ 重要代码详解

为了更好地说明程序的工作原理，请看如下代码。

首先是函数及变量的声明：

```
#define Task_ControlVoice_PRIO 8
#define VoiceTASK_STK_SIZE    512
OS_STK    VoiceStk[VoiceTASK_STK_SIZE];
static void AppVoiceControl(void *p_arg);
#define  Task_Rader_PRIO 5
#define RaderTASK_STK_SIZE  512
OS_STK    RaderStk[RaderTASK_STK_SIZE];
static void AppRader(void *p_arg);
///////LED indicate
```

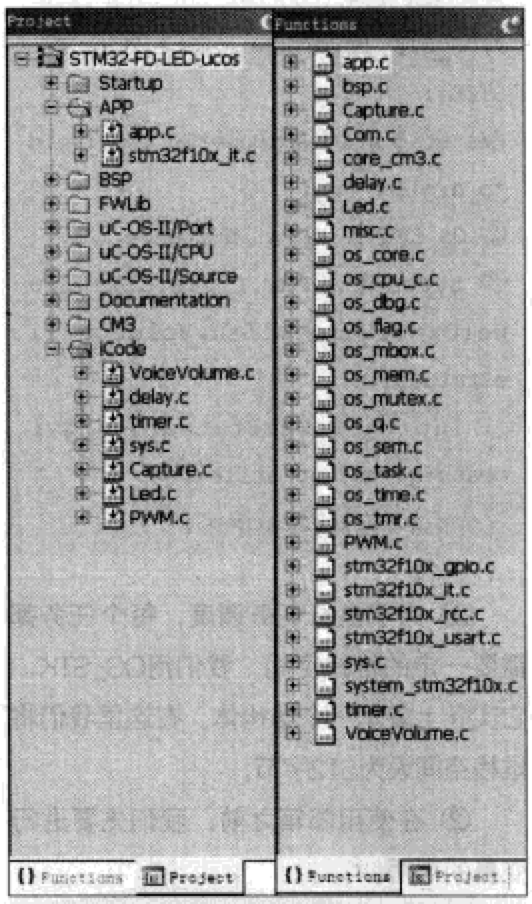


图9 整个软件由10个文件夹、29个C源代码文件组成

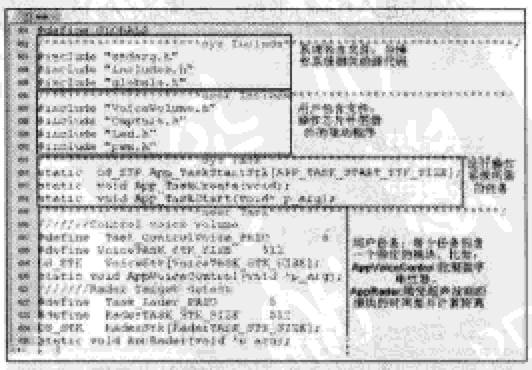


图10 app.c文件部分代码解释

```
#define  Task_LedIndicate_PRIO
#define   LedIndicate_STK_SIZE
512
① OS_STK LedIndicateStk[LedIndicate_
STK_SIZE];
static void AppLedIndicate(void
*p_arg);
/////// PWM Control LED
#define  Task_PWM_PRIO 7 //6
#define  PWM_STK_SIZE   512
OS_STK  PWM_IndicateStk[PWM_STK_
SIZE];
static void AppPWM(void *p_arg);
/////////Power control
//#define Task_PowerControl_PRIO 9
//#define PowerControl_STK_SIZE  256
//OS_STK  PowerControlStk[PWM_STK_
SIZE];
//static void AppPowerControl(void
*p_arg);
② OS_EVENT  *pmailDistance;
③ typedef enum {PowerOff=0,Po
werOn=1,VoiceOff=0,VoiceOn=1}
eStatues;
  int gviPowerStatue=0;//gvi
means:global volatile int
  int gviVoiceStatue=0;
```

① 为了进行任务调度，每个任务都需要一定的堆栈空间。我们用OS_STK，它实际上就是一个结构体。在这里我们将堆栈空间设为512字节。

② 在使用邮箱之前，我们先要进行变量的声明。

③ 共用体eStatues用来指示电源和音量的开关，1表示开，0表示关。

然后进入main函数，初始化芯片、操作系统，启动内核等。

```
int main(void)
CPU_IntDis();//禁止CPU中断
OSInit();//UCOS 初始化
① BSP_Init();//硬件平台初始化
② OSTaskCreate((void (*) (void
*)) App_TaskStart, //建立主任务
(void *) 0, (OS_STK *) &App_
TaskStartStk[APP_TASK_START_STK_
SIZE - 1],
 (INT8U) APP_TASK_START_PRIO);
OSTimeSet(0);
 OSStart(); //启动内核
 return (0); }
```

① 对芯片正常运行进行初始化，比如将内核时钟调节至72MHz，设置GPIO端口、中断优先级、波特率，以及开启1号串口。

② 在这里我们建立了一个主任务App_TaskStart。其实我们可以将所有的任务都放在main函数中建立，但是为了看起来简洁，我们将其他任务放在App_TaskStart中建立。

此后是其他任务的建立：

```
static  void App_TaskStart(void*
p_arg)
{   (void) p_arg;
  ① OS_CPU_SysTickInit();//初始
化ucos时钟节拍
#if (OS_TASK_STAT_EN > 0) //使能
ucos 的统计任务
OSStatInit();  //----统计任务初始化
函数
#endif
App_TaskCreate();//建立其他的任务
② while (1) //1秒一次循环
  { OSTimeDlyHMSM(0, 0,1, 0); }
}
static  void App_TaskCreate(void)
{ ///////////创建任务
 OSTaskCreate(AppVoiceControl,NUL
L,//数字音量电位器调节音量任务
(OS_STK*)&VoiceStk[VoiceTASK_STK_
SIZE-1],
Task_ControlVoice_PRIO);
OSTaskCreate(AppRader,NULL, //超声
波测距模块任务
(OS_STK*)&RaderStk[RaderTASK_STK_
SIZE-1],
 Task_Rader_PRIO);
 OSTaskCreate(AppLedIndicate,NULL
,//LED指示灯任务
(OS_STK*)&LedIndicateStk[LedIndic
ate_STK_SIZE-1],
Task_LedIndicate_PRIO);
 OSTaskCreate(AppPWM,NULL, //PWM
控制LED亮度任务
(OS_STK*)&PWM_IndicateStk[PWM_
STK_SIZE-1],
Task_PWM_PRIO);
 pmailDistance=OSMboxCreate(NULL)
; ////////////////创建邮箱
}
```

① 如果操作系统要正常进行任务调度等工作，就必须提供一个稳定的时钟滴答。以前我们经常用芯片的Timer，现在我们有了更方便的定时器——SysTick Timer。此Timer直接建在Coretex-M3内部，与内核共用一条时钟信号，是专门为加入操作系统而生的。

② 实际上App_TaskStart任务只需运行一次，不能不断地创建任务，因此才加入一条循环程序，并且每秒运行一次。

至于任务间如何通信、各任务如何工作，由于代码量比较大，就不列出来了，其工作流程参照图8可以理解。

硬件原理与制作过程

□ 音量控制模块

我们以FM62429作为音量控制模块的核心器件，其原理图如图11所示。

要控制FM62429，我们需要两根线：数据线（DATA）和时钟线（CLOCK）。其时序如图12所示。数据位有10位，如图13所示，其中D0和D1位为声道选择位。当D1为0时，双通道同时修改。当D1为1时，若D0为0，只修改通道1，若D0为1，只修改通道2。D2~D10为音量控制位，因为音量衰减与数据值递增无关，因此只能查阅其数据手册来获得数据与音量的关系。

最后介绍一下制作时需要注意的地

方。从原理图可见，并没有几个元器件，因此制作难度并不大，但是要特别注意干扰。因为在音量控制级上只要有很小的干扰，经过放大器的放大后，就会发出很大的噪音。首先要过滤来自电源的干扰，在这里我用了大容量电解电容和小瓷片电容并联的方式。另外还要注意线路的布局，如图14所示。除了要看起来美观、有序外，还要注意模拟信号线要尽量短。最

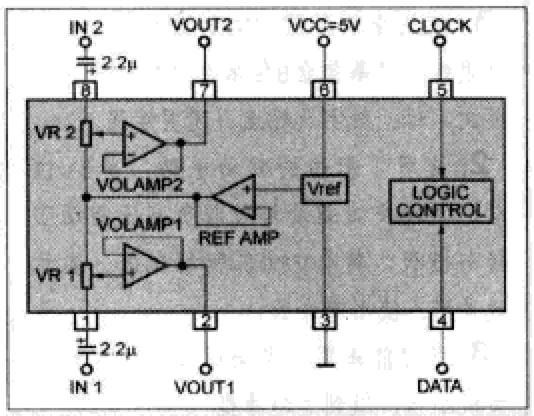


图11 FM62429原理图

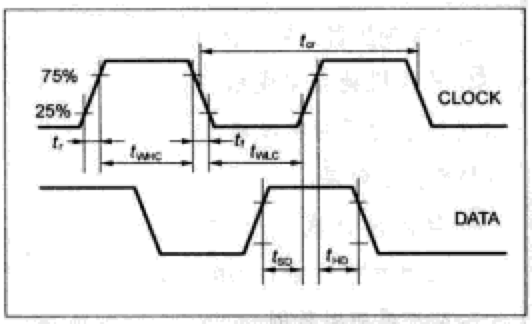


图12 FM62429的时序

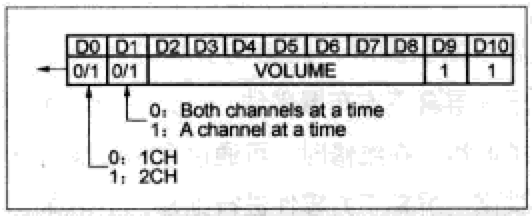


图13 FM62429的数据位

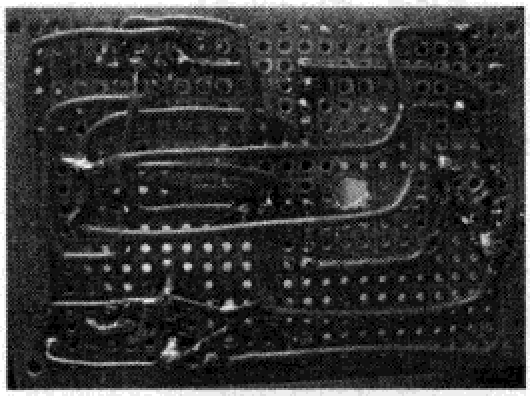


图14 线路的布局

后，由于我们采用模块化的设计，模块之间的模拟信号连线最好不要用普通的杜邦线，而是使用3芯屏蔽导线。

□ 超声波传感器

我使用的是深圳捷深公司设计的HR40超声波模块（见图2）。它共有4根引脚：VCC为5V电源， GND为地线，TRIG为触发控制信号输入，ECHO为回响信号输出。

其基本工作原理如下：用TRIG触发测距，保持最少10μs的高电平信号。模块自动发送8个40kHz的方波，检测是否有信号返回。若有信号返回，则通过I/O口ECHO输出一个高电平，高电平持续的时间就是超声波从发射到返回的时间。距离=（高电平时间×声速）/2。

由于我们测的距离比较近，在实际编程中，以毫米为单位。又因为芯片定时计数器的捕获时钟设为1ms，这样，只要将测到的时间值乘以0.17即可。

□ 其他

功率放大模块可以自制，也可以购买现成的，不过最好买单电源供电的，这样电平匹配会简单点。最小系统板选用雁凌YL-8。各个模块的硬件连接方法如图15所示。

□ 组装

外壳可以购买现成的机壳，我用的是一尺寸为20cm（长）×15.5cm（宽）×6.5cm（高）的白色塑料外壳，如图16所示。当然，如果用金属外壳，屏蔽效果会更好。如果你没有买到合适的外壳，也可以用大一点的塑料餐盒或者纸质包装盒。

我们先要用一个大一点的万用板来连接各个模块，完成后就可以安装在机壳内了。因为外壳底部有很多螺丝孔，因此很容易固定在外壳上。在外壳背面，再用电钻钻一个孔，用来连接电源线及数据线。

最麻烦的要数固定测距模块和LED

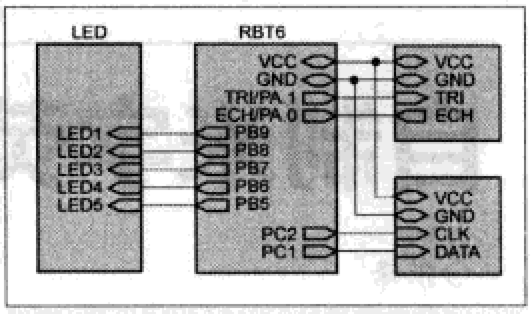


图15 各个模块的硬件连接方法

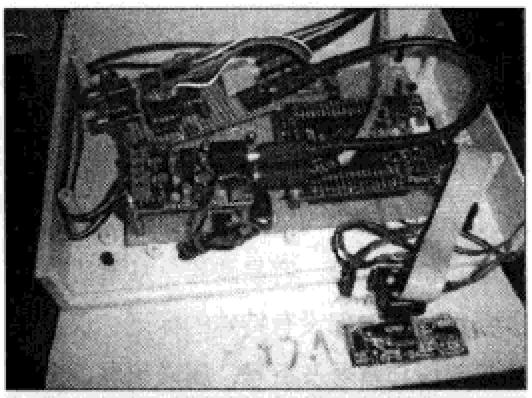


图16 准备一个外壳来容纳部件

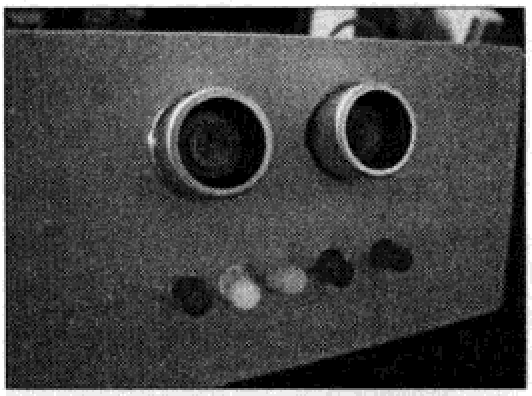


图17 在前面板上固定好测距模块和LED

了。准备一套AB胶用来固定。因为这种外壳的前后面板可以从槽内抽出，钻孔又方便了一些。抽出前面板后，测量好超声波发射和接收元件间的距离，然后打孔。我在这里遇到一个小麻烦——最大的钻头直径为10mm，而元件的直径为20mm，因此只能用刀片来扩孔。当两个超声波探头恰好能通过孔露在外面时，就大功告成啦，如图17所示。然后钻LED的孔，一共有5个，因为有合适的钻头，所以这一步是很轻松的，只是要注意顺序不要接错（LED从右往左依次为LED1到LED5），其中LED1兼作电源开关和音量开关的开启指示灯。这一切工作完成后，我们就可以舒服地坐在椅子上“远程”控制我们的音响啦！

自制米字荧光屏时钟

◇张锋

米字荧光屏简介

本制作采用的VFD屏（型号为AOTOM20070-1A04）的主要优点有：全新屏、价格低廉、容易购买。从笔段结构上看，此屏内部没有特殊的标记，仅包含字符笔段与冒号及点号，属通用屏，全屏为单一绿光显示，亮度高，可以应用到很多不同的领域中。（注：如果仔细搜索网络，可以从“上海中荧”网站上发现笔段相同，标号为20065-1A13的库存VFD屏。）

从屏幕的字段结构上来看，字符显示为米字型，全屏总共包含8个米字显示位、3个冒号位及上下两个点号位。冒号位与点号位分别位于两个连续米字的间隙处，中间位置处仅有冒号，无点号。这种字段布局的屏幕很适合制作成电子钟，其中的冒号位可用来作为秒点显示，主时间显示结构可以设计成“AM/PM+小时2位+分钟2位+秒2位”的12小时制显示结构或者设置为“日期的两位英文缩写+小时2位+分钟2位+秒2位”的24小时制显示结构。

从屏幕内部布线情况来看，此屏属于动态扫描屏。整屏分成8个扫描字段，分别代表了8个米字位字符及部分字符位附带的冒号与点号。全屏包括4灯丝引脚在内，总共有效引出脚数量为28脚，灯丝与其他引脚间存在2根无引出脚的空位作为间隔，总共占据了30个2mm间距的脚位，所有引出脚全部位于屏幕上方一端，属单端引脚屏，此结构引脚的优点是便于在屏幕下方布置零件，可充分利用PCB的面积，在维修时，可通过掀起屏幕的一端露出屏幕下方零件进行维修，不用焊下VFD屏。当然，考虑到屏幕引脚多次弯折后容易折断，所以应当尽量避免进行此类操作。屏引脚连接如表1所示。

本制作的特点

1 使用全新易购的VFD显示屏，显示效果好。屏幕包含8位米字结构，可显示英文字母、数字及标点，通用性强；

2 使用了新型的驱动电路，单5V供电，实现交流驱动灯丝与负高压驱动阳极与栅极，符合VFD屏驱动规范，显示效果好，使用寿命长；

3 尽可能采用小型全贴片零件制作，整机小巧，做到了超薄型；

4 充分利用单片机内的资源，使用最少的外围硬件驱动，且全部使用现成零件，无需绕制变压器，制作容易，成本低；

5 单片机独立完成扫描工作，可表现出同屏中的不同字段显示不同亮度字符的特殊显示效果；

6 整体设计成一个VFD通用显示模块，且单片机空余I/O脚全部引出，利于后期扩展应用范围。

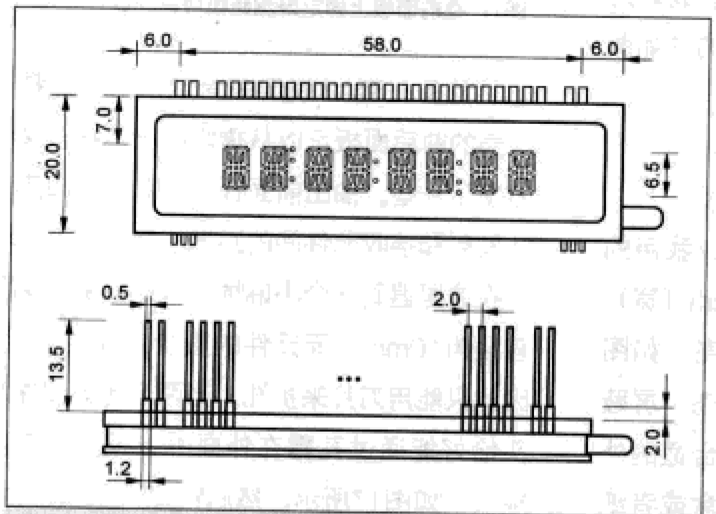


图1 屏幕规格图

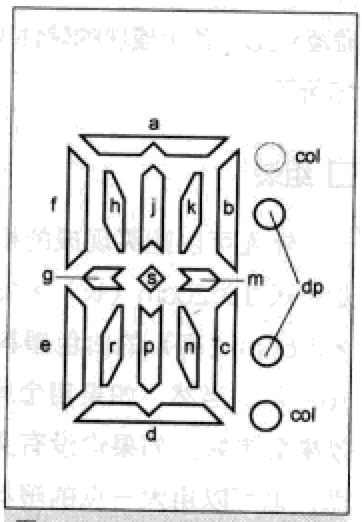


图2 AOTOM20070-1A04屏米字笔段组成

表1 本制作所用米字荧光屏引脚连接表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
连接	F1	F1	NP	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
序号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
连接	P13	P14	P15	P16	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G	NP	F2	F2

备注：表中NP代表无引出的空脚，G为栅极引脚，P为阳极引脚，F为灯丝引脚。

字段组成及驱动要点

AOTOM20070-1A04屏字段为米字结构，此处的米字结构与通用的14段米字基本类似，但又不完全一样，个别地方存在微小的区别，与标准的14段米字不同，此屏的米字中间增加了一个独立的

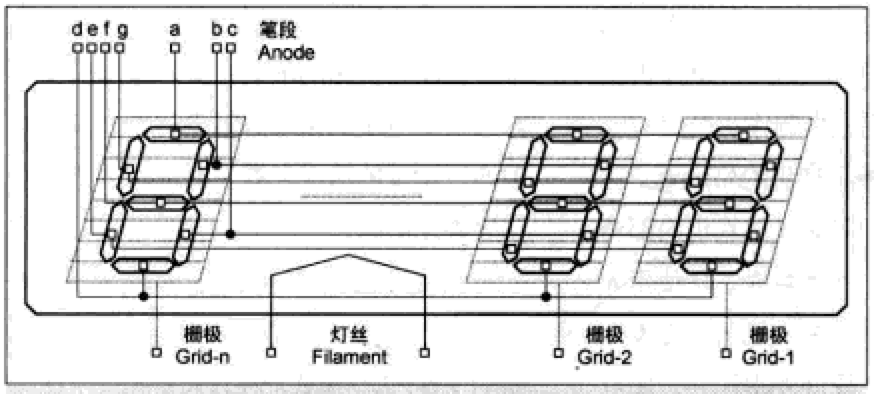


图3 动态驱动的VFD屏线路结构

表3 STF16360相关参数

商标	型号	输出电压	驱动类型	端口数量
STF	STF16360	-30V	负压型	36

表2 常见的动态屏驱动芯片

商标	型号	输出电压	驱动类型	端口数量
NEC	μPD16311	-35V	负压型	8G ×20S~ 16G ×12S
	μPD16312	-35V	负压型	4G ×16S~ 11G ×11S
	μPD16315	-35V	负压型	4G ×24S~ 12G ×16S
PTC	PT6311	-35V	负压型	8G ×20S~ 16G ×12S
	PT6312	-35V	负压型	6G ×16S~ 11G ×11S
	PT6315	-35V	负压型	4G ×24S~ 12G ×16S
JRC	JU3426	-45V	负压型	14G ×16S
	NJU3427	-45V	负压型	4G ×28S~ 16G ×20S
HOLTEK	HT16511	-35V	负压型	8G ×20S~ 16G ×12S
	HT16512	-35V	负压型	4G ×16S~ 11G ×11S
	HT16515	-35V	负压型	4G ×24S~ 12G ×16S

点笔端（s笔段）。在设计字符笔段组成时，需要特别注意，不要遗漏这一笔段。其次，米字符号中的j和p笔段电路是连接在一起的，两笔段无法单独点亮。

驱动这个VFD屏的规格参数为：灯丝为交流驱动，电压范围为2.2~2.6Vac，推荐驱动电压为2.4Vac，灯丝典型电流80mA；阳极与栅极电压相同，推荐电压值为+22.0V，最大值为+28.0V，典型阳极电流9.8mA，典型栅极电流10mA，阳极与栅极截止电压也相同，都为-3.0V，扫描占空系数*Du*为1/9，脉冲宽度*Tp*为100μs。

VFD屏驱动方案选择

上面已经谈到，AOTOM20070-1A04米字荧光屏属动态扫描屏，动态驱动的VFD屏是将每个独立字段进行分离，不同字段的相同笔段串联在一起，而各字段的栅极则独立引出。通过控制栅极上施加的电压来控制某字段的亮灭，通过高速的动态扫描即可实现整个屏幕内容的显示。由于动态扫描结构的VFD屏串联了各字段公共阳极的方式进行连线，大大减少了VFD屏的引出脚，适合制造字段组成比较多的VFD屏。动态扫描屏的缺点是驱动电路比较复杂，与同规格的静态屏相比需要更高的阳极、栅极电压才能驱动，如果扫描周期掌握不好，屏幕可能会出现闪烁感，影响实际显示效果。

下面列出了驱动动态扫描屏可选的两种常见方案：

方案一 专用动态扫描电路驱动VFD

驱动VFD动态屏通常使用的是专用的动态驱动芯片。使用这一方案的优点是外围电路简洁、硬件成本低、代码编写简单。通常的VFD动态扫描芯片内包含有串并转换、RAM、动态扫描等电路，可独立完成动态VFD屏的扫描显示，程序只用将所需显示的内容发送给显示芯片，动态扫描等工作由芯片独立完成，简单易用。这一方案的缺点是专用芯片价格稍高，且无法实现特殊的显示效果。

驱动动态VFD屏可视实际情况选择合适的专用芯片，表2列出了常见的动态屏驱动芯片的名称及规格，其中端口数量中的“G”代表笔段数量（Grid），“S”代表笔段位数（Segment）。

从表2中可以看出，常见的动态VFD驱动芯片基本都是负压驱动型。不同公司生产的芯片很多在引脚位、封装上是完全一致的，可代换使用，实际应用电路上仅存有微小区别，比如振荡电阻的阻值不相同。这些芯片的典型电压一般为5.0V，部分芯片可以在低于5.0V的电压下工作。VFD专用动态驱动芯片一般还同时提供有多个开关量输入、矩阵键盘扫描、LED驱动输出等一些附加资源，方便实际开发应用，以降低硬件成本，并节约单片机资源。更加详细的说明请阅读厂家提供的产品说明书。

如果对制作的稳定性要求较高，可选用NEC的μPD系列，如果综合考虑价格及可购性等因素，则建议选择PTC公司的产品，其中PT6311、PT6312、PT6315的典型逻辑驱动电压为5.0V（也可工作在3.3V电压下）。

方案二 单片机自主完成扫描工作

驱动VFD动态扫描屏的另外一种方法是不使用专用电路，由单片机独立完成扫描工作。由于普通单片机的I/O口无法直接驱动高压VFD，所以通常使用三极管或者高压驱动IC，间接驱动VFD引脚，而扫描显示部分则由单片机来完成。这一方案的优点是成本低，缺点是对代码编写的要求比较高，而且由于使用单片机来完成扫描工作，占用单片机内部资源与运行时间，可能会降低单片机运行时的实时性能。

在本制作初期试制过程中，笔者分别制作了以上两种方案的测试板。

对于专用动态芯片驱动方案，由于需要驱动米字的所有笔段及冒号与点号的显示，则动态驱动芯片需要至少能够驱动16个笔段与8个栅极的显示，从表2中选择PT6315进行驱动则可满足需要。但是在具体应用中，所有笔段是否需要全部利用起来，应根据实际需要来确定。例

如，仅使用其中的“8”字位部分用于数字显示，则可以减少笔段连接，或者也可以考虑将其中的一些笔段连接起来，在不影响显示含义的前提下，减少笔段连接，这样就可以采用PT6311等芯片来驱动。PT6315芯片采用4线串口驱动，驱动程序比较简单，请参考网上相关的资料，这里就不再详细说明。在实际实验过程中，笔者也尝试使用了HT16511芯片进行驱动，但是发现在显示过程中会偶发部分显示笔画消失的现象，原因不明，所以建议使用PT系列的芯片。

对于单片机自驱动方案，考虑到使用三极管搭接电平转换电路的焊接工作量大，且PCB布线困难，所以直接选用STF16360作为驱动芯片，它总共提供了36个高压输出端口，实际驱动此屏只需要使用其中的16个笔段加8个栅极，总共24个输出端口。STF16360相关规格参数如表3所示。

通过实际测试，以上两个方案都可以完成此屏的驱动，但是考虑到本制作的目标是尽量做到小巧化，QFP-52封装的PT6315动态扫描芯片无法实现完全藏到宽度只有2cm的VFD屏下方，而QFP-44封装的STF16360尺寸稍小，可以完全被屏幕遮盖。同时电路中的STF16360实际只使用了部分驱动脚，其下方一侧的11只引脚中只使用到了1只引脚，更利于在小面积PCB中完成布线工作。而PT6311虽然提供了如驱动LED指示灯、按键等附加功能，但是这些功能都可以使用单片机富余的I/O引脚来完成。综合以上因素，笔者最后决定采用STF16360配合单片机主动扫描的制作方案完成本制作。

单片机依旧选择了常用的ATmega8芯片，主要还是考虑到了这一单片机内部资源丰富、价格低廉、上手容易，且使用人数量众多，开发资料丰富的优点。在本制作中，为节约成本，降低外围元件，如灯丝驱动方波信号的生成、高压PWM信号的生成、动态扫描、时钟计时等大部分工作都需要依赖ATmega8芯片来完成。当然，只要资源满足本制作的需要，读者也可以选择自己熟悉的不同类型的单片机进行开发。

电路设计

灯丝驱动部分采用L9110S电机驱动作为芯片H桥变换，将直流换成交流方波，H桥输出的交流方波通过两个小容量的电解电容进行耦合，在灯丝两端获得平均电压约为2.6V的交流斜方波，作为灯丝AC驱动电压。

全桥电路中的输入脚所需的驱动信号由ATmega8的两个I/O引脚提供，两个I/O引脚输出互补的方波信号，在方波信号的切换过程中增加了一定时长的死区时间，防止出现H桥臂短路，对电路产生干扰。由于是动态显示的VFD屏，灯丝的驱动频率以较高为好，过低的扫描频率会导致屏幕出现闪烁现象，影响显示效果。由于ATmega8的片内定时器是共用的，所以综合考虑后，本制作设定的灯丝驱动频率为5kHz。在实际软件编写过程中，由于受到单片机硬件资源的限制，实际输出的交流灯丝驱动电压的频率有轻微的动态变化，但通过测试的情况来看，对屏幕的实际显示效果无影响。

负高压部分采用的是电感式Buck-Boost变换电路，利用ATmega8中的定时器的快速PWM模式产生80kHz的占空比可调方波，采用8550为驱动三极管、1mH电感为能量传递介质的负电压变换电路，通过调节驱动方波的占空比来调整输出电压值的高低。原考虑在负高压输出中使用采样电阻分压采样输出给ATmega8的内部AD转换器进行电压采样，通过软件动态调节驱动信号的占空比以实现稳压。但是通过试验发现，此屏对高压的波动有一定的宽容程度，通过试验确定一个最优的固定占空比的PWM信号驱动升压电路，外围虽然没有稳压电路，但显示依旧稳定。实际软件中，通过调整参数进行试验，最后输出电压为-20~-21V的负高压，屏幕亮度适中，Buck-Boost电路工作稳定。

“截止偏压”部分通过在栅极和阳极电压供电电路中增加一个3.0V的稳压二极管串联限流电阻后，中间搭接到灯丝中心电位来实现，灯丝中心电位则使用两个3kΩ的电阻串联，取中间位置的简单电路来实现，稳压管上可选择并联一个电解电容来增加电压的稳定性。

显示驱动部分的电路则比较简单，STF16360负责所有笔段与栅极的驱动，单片机通过简单的串行数据通路与

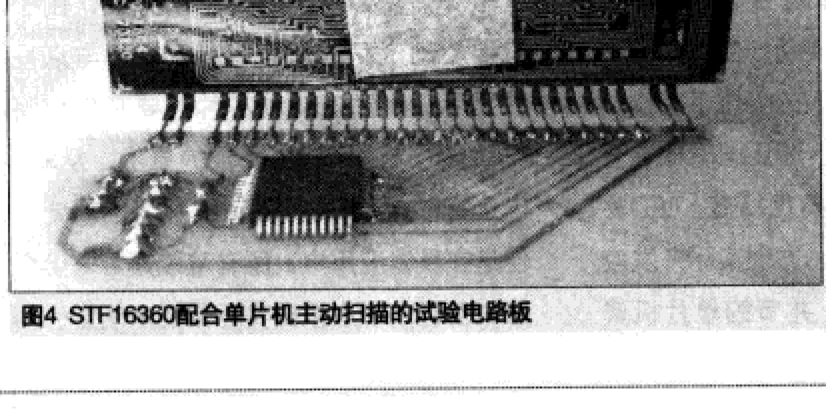


图4 STF16360配合单片机主动扫描的试验电路板

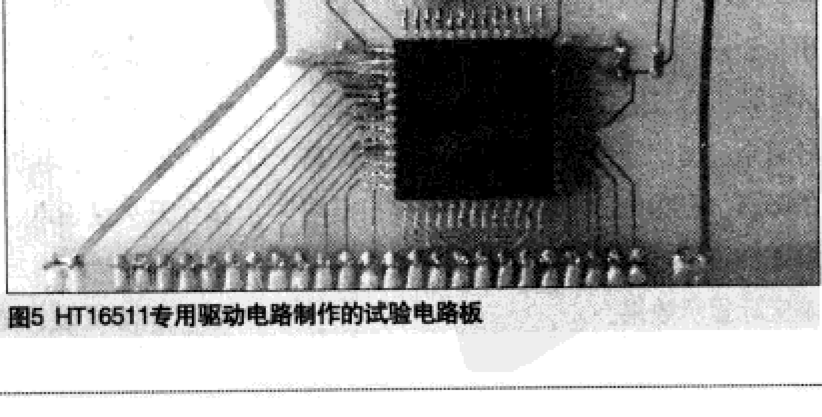


图5 HT16511专用驱动电路制作的试验电路板

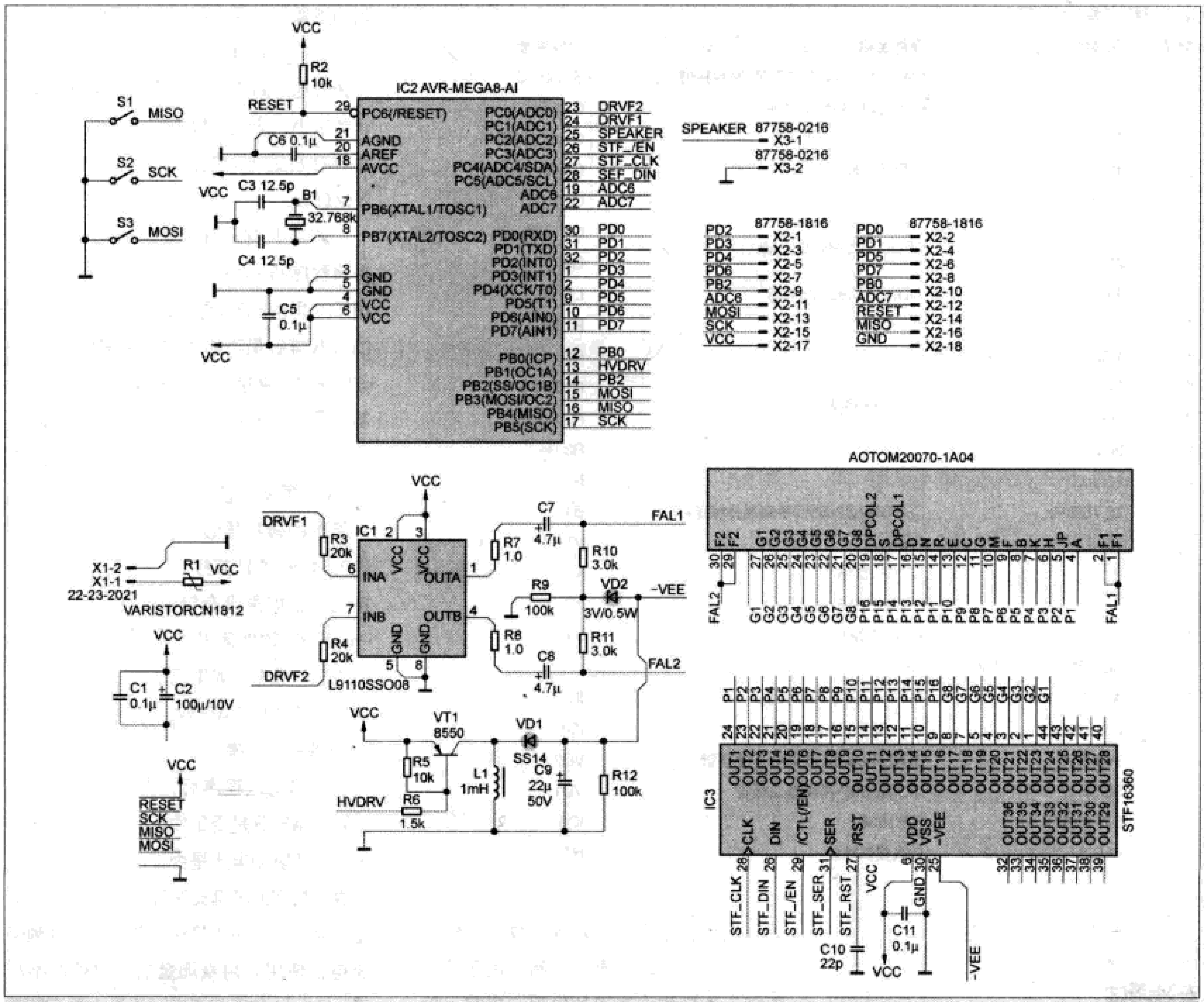


图6 电路原理图

STF16360连接，将所需要显示的数据逐位输送给STF16360，送完后发送锁存信号，完成串并转换并进行显示。由于此VFD屏的笔段数量为16，栅极数量为8，则所有数据使用3个字节即可完整描述，且16和8又正好都是8的倍数，送出的前一个字节为栅极驱动信号，后两个字节为笔段驱动信号，软件层上相当容易处理。

按键部分采用的是简单三按键结构，完成调节日期、时间、闹铃等各项设置功能，按键连接到了ISP中的3个引脚上，复用此资源，方便利用板上的ISP插针引出按键到外部。

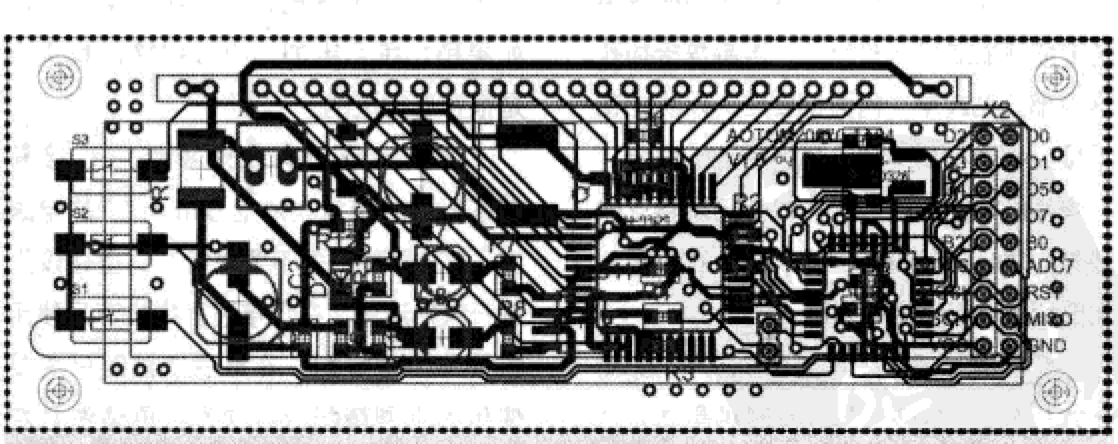


图7 PCB图

最后，考虑到此制作使用的是通用显示屏幕，制成品不一定局限在电子钟应用，还可以开发出各种其他类型的应用，所以在设计上尽量将其设计成通用模块。一些在增加传统电子钟DIY功能中常见的如CDS、红外接收模块、温度传感器等相关零件没有出现在本电路中，但是电路中使用2.0mm间距的排针引出了单片机未使用的所有I/O引脚，以方便后期连接外接

表4 制作所需元件列表

数量	元件值	元件名称	元件标号
3		SWITCH2-SMD-1101NE贴片按键	S1,S2,S3
2	4.7μF	CPOL-EUSANYO_SMD_A5	C7,C8
4	0.1μF		C1,C5,C6,C11
2	12.5pF	C-EUC0603	C3,C4
1	22pF		C10
1	100μF/10V	CPOL-EUSANYO_SMD_C6	C2
1	22μF/50V		C9
1	1μH	INDUCTORCR75电感	L1
2	1Ω		R7,R8
1	1.5kΩ		R6
2	3kΩ	R-EU_R0603	R10,R11
2	10kΩ		R2,R5
2	20kΩ		R3,R4
2	100kΩ		R9,R12
1	32.768kHz	CRYSTAL32-SMD手表晶体振荡器	B1
1	8550	PNP	VT1
1		87758-0216	X3
1		87758-1816	X2
1		22-23-2021	X1
1	AOTOM20070-1A04	VFD屏	
1	AVR-MEGA8-AI	AVR-MEGA8-AI单片机	IC2
1	L9110SSO08	L9110SSO08 H桥驱动	IC1
1	3V/0.5W	ZENER-DIODESOD80C稳压管	VD2
1	SS14	DIODE SMA肖特基二极管	VD1
1	STF16360	STF16360	IC3
1	VARISTORCN1812	自恢复保险丝	R1

电路，扩展开发出更多的应用。

安装调试

在焊接元件之前，建议先使用耐高温的聚酰亚胺胶带将排针孔、屏幕焊接插孔这两部分贴起来，两面都要贴，以防止在焊接过程中粘到焊锡，发生堵孔的现象。在焊接IC等元件时，也可以使用聚酰亚胺胶带对零件进行临时固定，防止在焊接起始阶段发生IC移位等问题。

焊接时，建议先焊接正面的ATmega8单片机与STF16360芯片及时钟晶体元件部分，这一部分的IC元件引脚多，初学者容易出现焊接错误，建议仔细进行。焊接完成正面零件后，先清洗一下松香等残余物，然后用放大镜仔细检查是否有焊接错误，如果正面零件焊接没有问题，再进行反面零件的焊接。PCB反面主要为电阻、电容、插针等分立式元件，焊接起来会比较容易。虽然，由于尺寸限制，本制作中使用的电阻、电容元件很多是0603封装的，尺寸比较小，但是如果稍加练习再加上小心焊接，其实还是很容易完成的。

焊接完成所有表贴零件后，接着焊接2.0mm排针与XH2.54mm 2P的电源座，VFD屏幕则先不要焊接。这里建议先进行PCB清洗，在焊接过程中推荐只使用松香作为助焊剂，在最后清洁时只需要使用无水酒精配合一次性牙刷清洗几次即可，安全环保。清洗完成后的PCB应在晾干后使用放大镜进行仔细检查，看一下元件是否焊接正确，有无短路或虚焊的现象。如果没有明显的问题，则可以进行初步上电测试。

在初次上电前，建议先用万用表的电阻挡测量一下供电引脚的电阻值，由于电源线路中并联有电容，需稍等一段时间，待读数稳定后方为正确值。如果存在电阻读数过小，应该先检查焊接是否正确，是否存在短路等问题。正常电阻值大约在20MΩ级。

如果上电未有明显问题，则可以准备将程序通过USB ISP写入ATmega8内。由于这里的ISP口是通过2.0mm排针引出的（双排针最下面3行6只引脚），无法与USB ISP直接连接，所以建议读者自己制作一个6pin的2.0mm排母转2.54mm排针的转接板，也可以从2.0mm的排插中拆出6个插头，使用热缩管热缩绝缘，作为简单的转接插线，插线的另外一头通过2.54mm的杜邦线与USB ISP连接。连接完成，如果没有错误，应该可以使用ProgISP等软件读出或者写入ATmega8中的代码与数据，如果无法读取或者写入数据，则应该检查ATmega8焊接是否可靠，ISP连线是否正确。

正确写入程序后，应该接着检查各主要电路部分是否工作正常，先检查两个屏幕灯丝驱动电压是否正常，可以使用万用表连接PCB屏幕安装排孔左右两端，测量灯丝电压，由于灯丝驱动电压是高频交流电，使用万用表测量的读数可能不准确，Fluke 17B万用表实际测量中显示读数为1.9Vac。有条件的读者可以使用示波器观看输出波形是否为正确的斜方波。高压部分通过测量HV输出电容两端的电压即可，正常读数应该在20V左右。

如果两组电压都没有问题，则可以将VFD屏的引脚塞入焊接排孔内，接通电源，向侧上方轻按VFD屏，使屏幕的引脚与焊接孔紧密接触，如果PCB工作正常，屏幕此时应该正常显示出时钟。如果屏幕亮度正常，笔段显示正确，则可以断开电源后将屏幕焊接上PCB。如果可以正常显示，但部分笔段缺失，可通过向屏幕其他方向施加压力，确保接触正常。如果未有改善，则需要仔细检查STF16360的焊接情况。

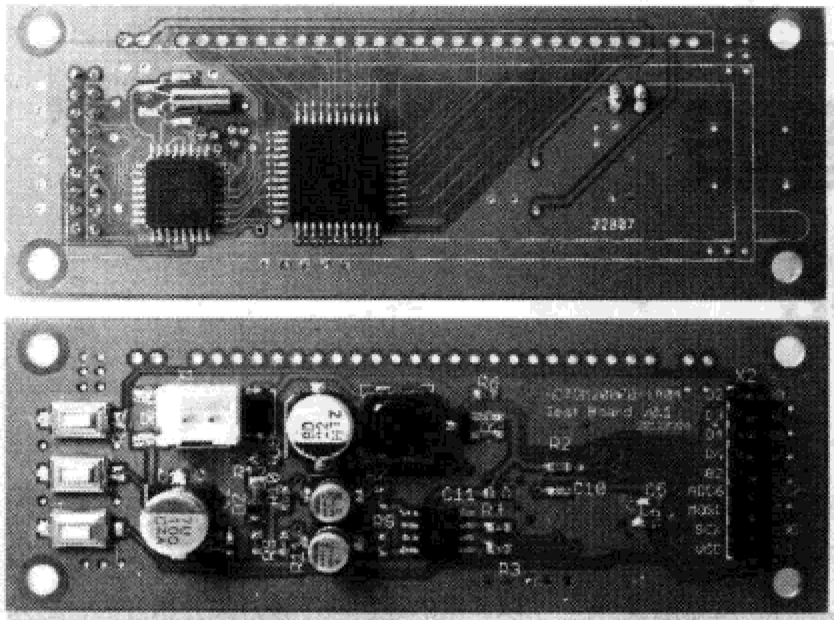


图8 实际制作焊接完成的PCB

图9 实际屏幕显示效果(上)与增加滤光片后的显示效果图(下)

在PCB正面焊接上VFD屏幕后，屏幕与正面下方的零件之间存在一定程度的空隙，也就是说屏幕基本还是处于悬空的状态。处于对玻璃结构的VFD屏幕的保护，建议在屏幕下增加一层缓冲层。一般可在屏幕下方左右各贴一小片泡棉双面胶，将屏幕与PCB粘在一起即可。

全部制作完成后，建议测量一下工作电流，正常工作电流为110～120mA，如果测量到的电流过高，需要仔细检查线路及所使用的零件质量。

软件设计

软件方面的设计主要还是集中在显示部分与时钟部分，时钟部分与传统的时钟代码没有什么本质的区别。

考虑到本模块被设计为通用模块，所以基础的源代码完成如时钟、I/O口的配置，生成灯丝驱动信号、高频PWM驱动信号，以及与STF16360进行数据传输的代码，实现了驱动VFD屏幕并在其上显示0~7数字的功能，进一步的应用功能，读者可以根据实际需要自己编写对应的代码。

注意事项

本电路中使用L9110S作为H桥驱动芯片，主要是考虑到其价格低廉、易购买，但是L9110S自身压降偏大、效率不高，在实际使用过程中，会出现芯片发热现象，同时两个4.7μF/35V隔离电解电容也会出现轻微发热，属正常现象。如果需要改进电路，提高效率，可以考虑换成如LM9022之类的VFD灯丝专用驱动芯片。

在环境温度较低的情况下，初次加电时，部分屏幕两端的字符可能出现亮度稍暗的现象，这一现象只需稍等几十秒，待灯丝达到稳定温度后，即自行消失。在个别情况下，屏幕内的灯丝可能会发出轻微的高频声，在很安静的夜间比较明显，这一现象产生的主要原因是驱动灯丝的交流频率值不当，由于受到ATmega8L单片机本身性能的限制，定时器资源是复用的，频率无法提高到超过音频频率，这一问题可通过在屏幕前安装一块透明压克力滤光板或者增加一个外壳来解决。

考虑到作为通用模块及PCB面积的限制，扬声器部分并未设计安装在PCB上，仅使用2.0mm的2pin针脚引出，请根据需要连接上普通5V无源蜂鸣器，以实现闹铃及提示音发声功能。

电路板制作调试完成后，为了确保良好的显示效果，建议在屏幕前面放置尺寸适配的彩色半透明滤色片，可以获得更优异的显示效果。如果专用滤色片不容易购买到，最简单的方法是使用半透明色纸，也可选择市场上常见的半透明压克力板作为滤色板使用。通过对市场上常见的16种颜色的半透明压克力板进行的测试，对于本制作中使用的绿色VFD显示屏，最适合配置蓝色的半透明压克力作为面板，表现效果最好，显示亮度最高，通常2.6mm厚度的板材也能够显示出明亮的蓝色高亮文字效果，其次，茶黑色半透明压克力的外观效果最好，但屏幕亮度衰减很高，如果使用这种类型的压克力面板，建议使用厚度小于1.5mm的板材。

目前，制作出的电子钟已连续稳定工作两个多月。实际上，只要选择优质的时钟晶体，并确保电源供电，作为电子钟还是有实用价值的。

制作总结

本制作提供给读者的不仅仅是一个VFD电子钟，更是一个带通用8位米字VFD屏的通用开发模块，利用板上引出的单片机引脚，通过外部连接，可制作出更多其他的应用。希望读者能够充分发挥自己的聪明才智，充分利用好这一廉价的VFD通用开发模块，开发出更多、更精彩的应用。

■ **本制作所需单片机程序可到本刊网站www.radio.com.cn上下载。**

为普通开关增设延时关闭功能

◇宋彦涛

笔者的老爸有时会工作到很晚，全楼层就他一间办公室亮灯。离开时，需先关闭房间的灯，结果是整个楼层没一点光了（走廊灯开关比较远），黑暗中，既要锁门，又要撤离，很不方便。我心想：如果办公室的灯能延时关闭，这些问题不就解决了吗？

看到这里，估计大家可能会问，延时开关现在有的是啊，为什么你还要设计这个呢？

要回答这个问题就要先总结一下市场上延时开关的缺点：不管是触摸或声控延时开关，工作原理基本一样，就是触摸一下灯亮起，延时一会儿后自动关闭。这种开关可能只适用于楼道，不适合装在家里或办公室里，因为需要长时间照明时，你总不能把手一直放在上面吧？

因此，笔者要制作的是一个既有普通开关功能，又能启动延时关闭功能的开关，它能克服以上缺点。它的工作流程很简单：当灯在亮着的状态下，按下开关2s后再松开，就会进入延时关闭模式。而当以正常的速度按下该开关并松开时，它只是一个普通开关，即按一下灯亮，再按一下就熄灭。延时时间可以是任意的，短到几秒，长到1小时，都能实现，只需要修改程序或者调整拨码开关。在未到设定时间的任何时刻按下开关，灯都会立即熄灭。到达设定时间以后，灯会自动熄灭。简单的一个小电路就可以让我们的生活更方便，以下是具体制作方法。

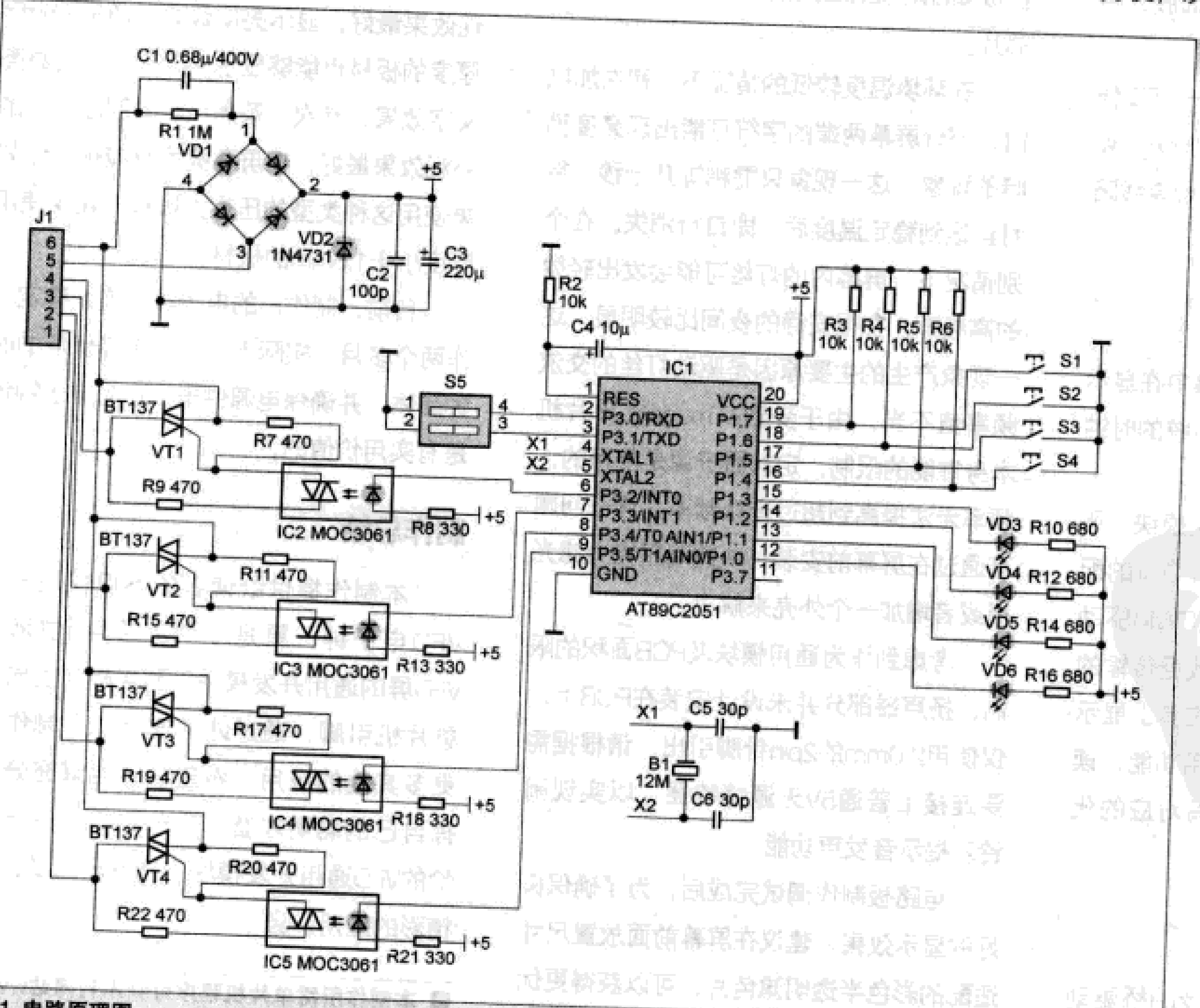


图1 电路原理图

电路原理

电路原理图见图1，比较简洁，采用AT89C2051来控制。该芯片相信很多人都不陌生，容易购得，功耗也较低。

电源部分采用的是电容降压，目的是为了减小体积，但这就要求大家注意绝缘，通电后不可以碰触任何一个裸露的接点。只要做好了绝缘工作，那它就是安全的。

交流控制部分，采用晶闸管来通断电路，优点在于相对继电器功耗更低，且体积比笨重的继电器小很多。特别说明一下，这个电路中的单片机最多能同时控制4路，4路工作互不影响。如果你只需要控制1路或2路，

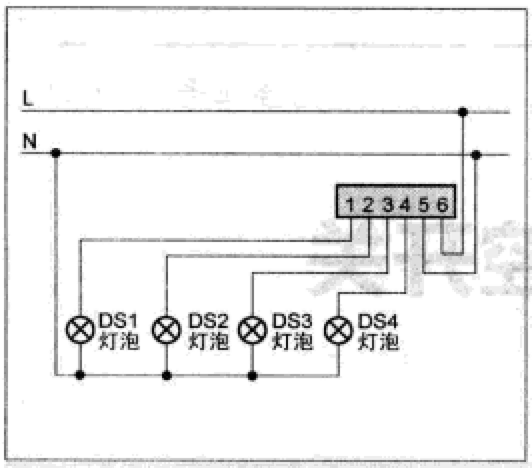


图2 接线图

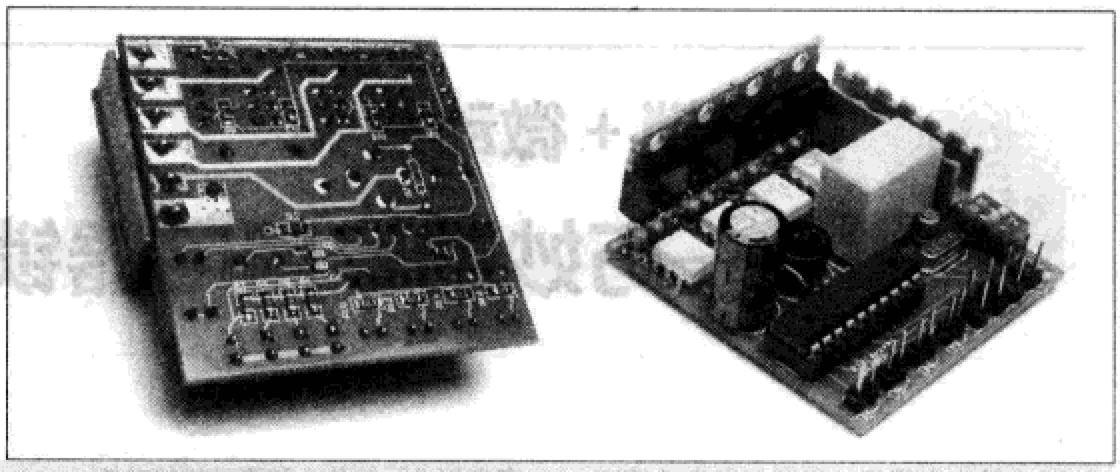


图3 焊接完成的电路实物

不需要焊接安装多余的零件，由图1可知，P1.7、P1.3、P3.2为一路的控制接口，其他三路以此类推。

市电经C1降压后由VD1整流，与稳压二极管VD2、C2、C3组成简易稳压、滤波电路，稳压值为4.3V，用以驱动电路。R2、C4位单片机复位电路，用于给单片机提供复位信号。R3~R6为无锁开关S1~4的上拉电阻。注意，S1~S4均为无锁开关，即按下后会自动复位，松开后不保持在接通状态，可以用门铃开关，或者轻触开关。R10、R12、R14、R16为发光二极管（指示灯）的限流电阻，防止烧坏发光二极管。S5是2位拨码开关，可以提供4挡延时时间切换。VT1、R7、R9、IC2、R8为一组交流控制单元，单片机向某组光耦输出低电平，即可使该组电路接通，电灯工作。由于家庭用灯功率不会很大，因此不必担心晶闸管的温度过高。接线柱5与6号引脚分别接零线与火线，1、2、3、4分别与零线间串联电灯，接线图如图2所示。

制作介绍

笔者设计了一块PCB来安装，板子是基于86型开关大小设计。4路的元件都留了位置，如果焊接了所有元件，那这一个板子就能控制4盏灯，且各自没有影响。根据实际情况可以只焊接1路或者2路。由于这是我第一次设计PCB，所以布线和元件布局不合理的地方还请大家指正。焊接完成的实物及电路见图3。

小电流的电阻和电容我采用的是贴片元件，能减少相当大的面积。制作所需元器件如附表所示。制作完成后不要急着直接上市电，先检查是否有短路的地方，不能有虚焊，应先用稳压电源（4.3V）接在稳压二极管上测试。注意接线顺序，稳压电源正极应接到稳压二极管负极上。若正常，则发光二极管会亮起，按下开关后松开二极管会熄灭，就说明低压测试通过了。最好在发光二极管熄灭的情况下测试光耦输入端电压是否接近电源电压，若无电压，请检查电路连接。一切没有问题，再接上市电。剩下的工作就是安装外壳了，如图4所示。我用市面上普通的开关里面加入弹簧来实现开关自动复位。在适当的位置装发光二极管，用胶粘好便大功告成了。

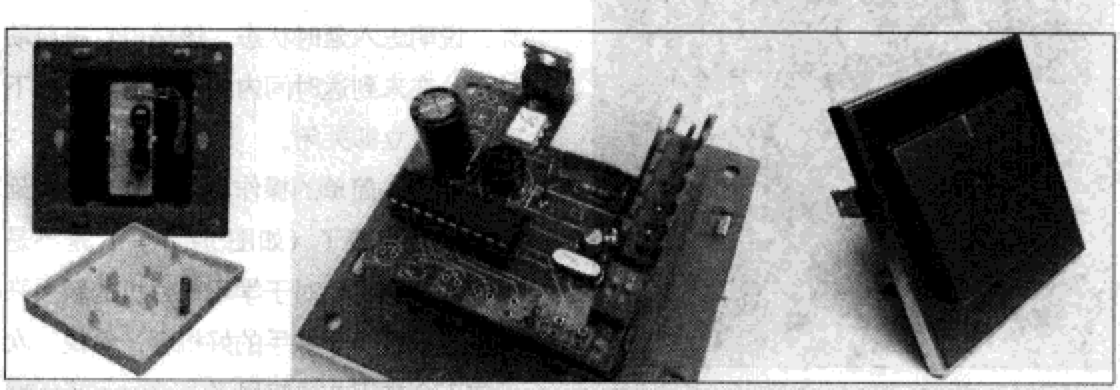


图4 安装外壳

使用说明

首次通电后，电灯默认为关闭状态，指示灯点亮，用于夜间提示开关位置。正常速度按下无锁开关后松开，可以控制电

附表

元器件	名称	型号
IC1	单片机	AT89c2051
IC2~5	光耦	MOC3061
VD1	整流桥	2W10
VD2	稳压二极管	1N4731
VD3~6	发光二极管	
B1	晶体振荡器	12MHz
S1~4	无锁开关	门铃或轻触开关
S5	拨码开关	2位
R1	电阻	1MHz
R2~6	电阻	10kΩ
R7\9\11\15\17\19\20\22	电阻	470Ω
R8\13\18\21	电阻	330Ω
R10\12\14\16	电阻	680Ω
C1	安规电容	0.68μF/400V
C2	电容	100pF
C3	电容	220μF/25V
C4	电容	10μF/25V
C5\6	电容	30pF
VT1\2\3\4	双向晶闸管	BT137
J1	接线柱	6pin

抽屉锁+微动开关
——巧妙的家用电器锁控开关

◇车亚平　张爱迪

给电脑、电视机、影碟机和音响等家用电器加装下面介绍的锁控开关后，可有效地限制小学生或他人随意开机，具有非常现实的使用推广价值。

如果有关厂家在一些电子、电器产品上附加这种锁控开关功能，相信一定会受到有小孩家庭、学校和有关单位等特殊用户的欢迎！

工作原理

家用电器锁控开关的电路如图1所示，其中XP为家用电器原有的交流电源插头。这种锁控开关由市售普通抽屉锁和微动开关巧妙组成，微动开关串联在被控用电器的电源总回路中，通过用钥匙控制抽屉锁的“开”或“关”，再去控制微动开关的“闭”和“合”，进而控制用电器电源的“通”和“断”。由于微动开关安装在用电器的内部，不能人工直接操作，只能通过抽屉锁及其钥匙去控制，所以具有良好地限制他人随意开机的功能。

需要指出的是，采用市售普通抽屉锁和微动开关巧妙组成的锁控开关，可谓“珠联璧合”。首先，抽屉锁和微动开关在电气上没有任何联系，金属抽屉锁与微动开关及其控制电路均处于电气完全隔离状态，人体接触金属抽屉锁时是很安全的，其次，微动开关具有触点可频繁转换、控制电流大、本身无功耗等特点，这使得锁控开关适应性比较强，可用于控制各种常见的交、直流用电器。

元器件选择

图2所示是本制作所用市售普通抽屉锁和小型微动开关的外形实物图。抽屉锁宜选用市售小号产品，以尽量缩小体积，方便安装。微动开关可选用KWX-1型，其触点额定工作电压为交流220V、额定工作电流为1A，完全满足控制一般家用电器（功率≤200W）的需要。如果所控用电器的功率较大，应注意选择额定工作电流相应大一些的微动开关。

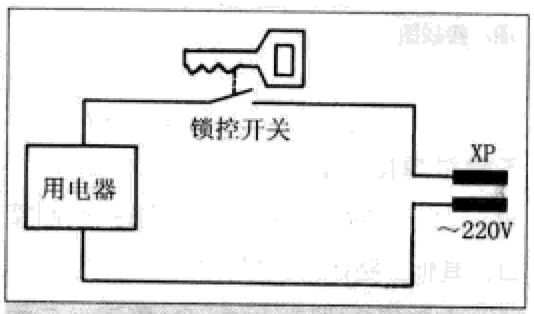


图1 家用电器锁控开关电路图

KWX-1型微动开关内部设有一组转换触点，通过外壳所标出的“1~3”三个数字接线端与外控制电路相接。实际应用时注意：“1”和“3”为常闭触点接线端，“1”和“2”为常开触点接线端。显然，“1”为公共接线端。

制作与使用

按照图3所示，将抽屉锁和微动开关加装在欲控制的电器内部空闲位置处。

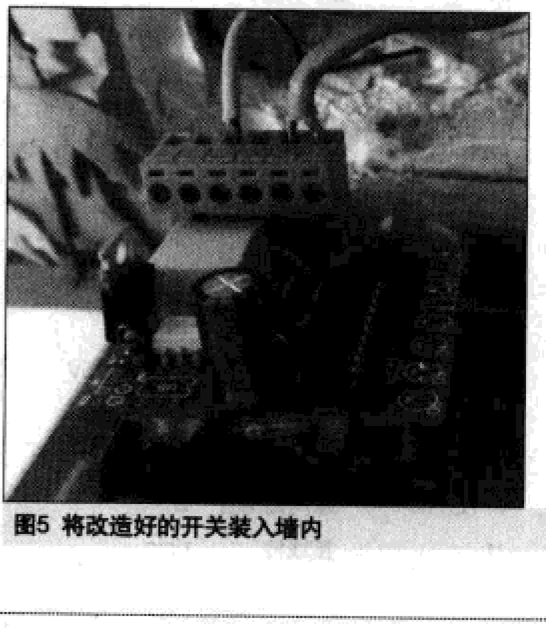
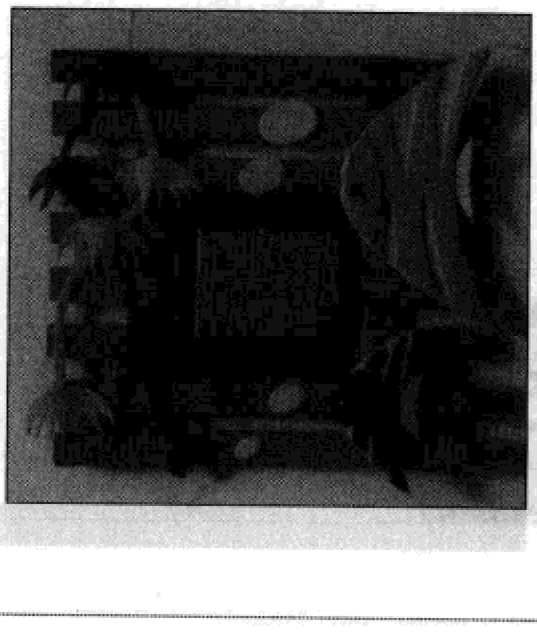
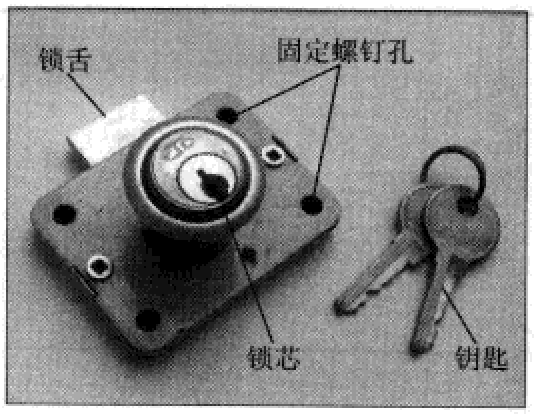


图5 将改造好的开关装入墙内

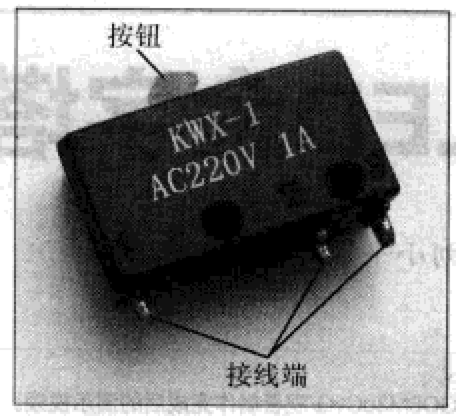


灯的开闭，且电灯开启时指示灯熄灭，电灯关闭时指示灯亮起。在灯开的状态下，按住开关持续2s以上后松开，指示灯闪烁，说明进入延时状态。该路电灯将自动关闭，在未到达时间内的任意时刻，按下开关均可立即关闭。

好了，简单的操作后，一款实用的延时开关就完成了（如图5所示），是不是很有成就感呢？对于学习单片机的新手来说，这也是一个练手的好机会。希望下次大家不会被困在黑暗里了。



（a）小号抽屉锁



（b）小型微动开关

图2 需要准备的元器件

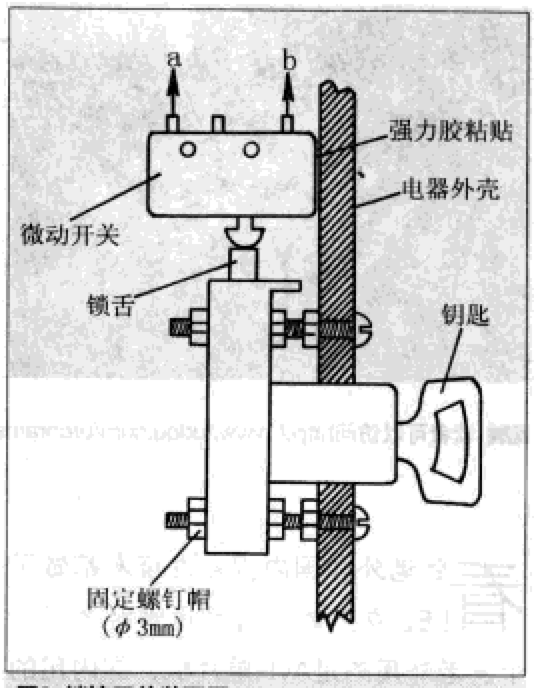


图3 锁控开关装配图

将微动开关的常闭触点的外引线a、b串入用电器总电流回路（即电源进线的任意一根线）中去，要求上锁时，锁舌顶住微动开关的按钮（即碰头），使开关内部常闭触头断开，用电器无法通电工作，开锁后，锁舌远离微动开关按钮，使开关内部常闭触点接通，自动解除对用电器的“锁控”。

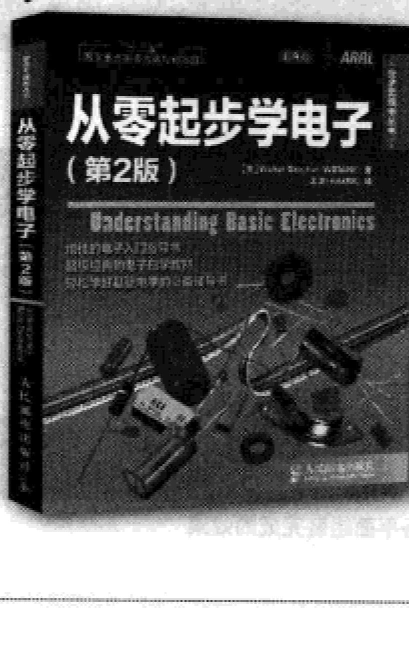
给电脑加装这种锁控开关时，可不一定将微动开关常闭触点的一对外引线串入220V交流供电的总回路，将其串联在电脑低压启动按钮开关的引线回路中，同样可以实现“锁控”功能。当用于直流低电压供电设备的“锁控”时，将微动开关常闭触点的一对外引线串入直流供电的总回路中去即可。

有的读者可能会提出这样的问题：既然要给用电器的总供电回路加装锁控开关，那原有的电源开关也就失去了使用价值，何不拆除原有的电源开关，腾出空间直接安装锁控开关呢？这个想法不是没有道理，但笔者建议多数情况下还是不要这样去做！因为大多数情况下，锁控开关仅在需要“加锁”时才使用，不需要“加锁”时，只要始终保持抽屉锁处于“开锁”状态，就可以使原有的电源开关保持通常状态下的“开”、“关”功能，操作起来方便自如。如果利用锁控开关兼用电器的电源开关，在解除“锁控”功能后，仍然需要每一个操作者都通过“钥匙”来开关用电器电源，反而倒成了“作茧自缚”，多有不便！

实际使用时，主人随身携带锁控开关的钥匙。每次打开被控用电器前，首先用钥匙开“锁”，然后按照常规操作用电器，使之正常工作。关闭电器电源后，上“锁”，并拔掉钥匙，则未经主人同意，其他人便无法打开被控用电器电源，从而有效地限制了他人随意开机。

友情提示：各种家用电器都有免费保修（换）期限，厂家规定在保修（换）期内不能“拆封”机箱（盒），也不能自行对电路进行维修、改造等，否则将拒绝给予所承诺的免费保修（换）服务！读者在给自己新买的用电器加装上述锁控开关时，需要提前考虑到这一限制，以免“拆封”后，悔之晚矣！

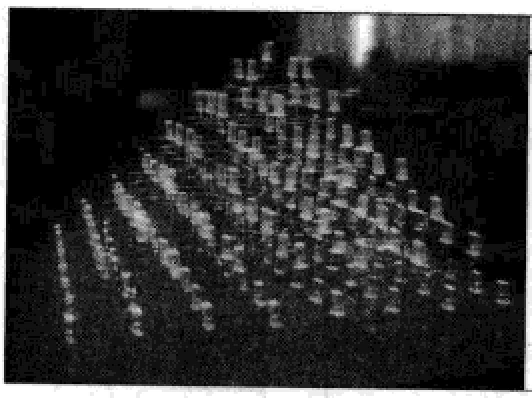
新书推荐



第1版广受欢迎　　第2版重装上市

《从零起步学电子（第2版）》

这本书是人民邮电出版社从美国业余无线电协会引进的业余无线电系列丛书之一《从零起步学电子》的第2版，和第1版相比，第2版保留了第1版深入浅出、幽默风趣的风格，在知识结构上做了调整，做到了与时俱进，更符合从零开始学习电子学的初学者的学习要求。第2版中，作者在每个章节后增加了温故而知新的“复习检测”，帮助你了解每个章节知识的掌握情况。从这本书中，我们还可以了解到国外的学习理念，这也许会给你的工作和学习带来启发，这也是这本书的第1版深受读者喜爱的原因之一。



LED金字塔

◇刘小平　李志远

读者可以访问http://www.tudou.com/programs/view/HTGO6M3uCyQ/观看制作完成后的演示视频。

看到老外和国内很多发烧友都做了LED立方体，自己也曾经做了一个。老外用的是AVR单片机，国内用的是增强型单片机，我想，就用最常见的STC89C51能不能做LED立方体显示呢？而且，我第一次做的LED立方体外观不好，就想再做一个。想得到就做得到，我马上就准备起来。遗憾的是，开始动手时发现，LED灯珠不够，8×8×8的立方体需要512个灯珠，我只有200多个。不过，办法总是有的，我灵机一动，既然灯珠不够，就干脆做个别的形状的，也能遵循立方体显示原理，就这样，LED金字塔就开工搭建了！

因为笔者工作繁忙，只写了些简单的动画效果，有兴趣的读者可以扩展开发出更多的动画效果。

制作详解

1. LED灯珠的焊接

焊接LED灯珠之前，先做个固定板，选用面积20cm×20cm以上的泡沫即可。找白纸，画出8×8的格子，每个格子的边长为2cm（如果你买的是小号灯珠，可以适当减小每个格子的边长），把白纸平铺在泡沫上，纸的边缘用双面胶粘好，以防白纸移动影响打孔。

接下来在泡沫上打孔。由于我用的是方形LED灯，所以找的是扁形烙铁头，泡沫上很容易打出洞的。如果你用圆形LED灯，建议用尖头烙铁。不管是什么头的烙铁，对准了交叉线按下去就OK了，一时失手导致有点偏差也没关系，因为底座是泡沫，插灯珠的时候很容易修正位置。图1所示就是我打完孔的泡沫板。

接下来开始将LED灯插入对应的孔内，如图2所示。我采用的方式是正极全部朝右，负极全部朝向下（个人的习惯）。在插之前，先用平口镊子把引脚弯折好，在插入泡沫孔时，插入顺序建议是从右到左，这样方便以后的插件。

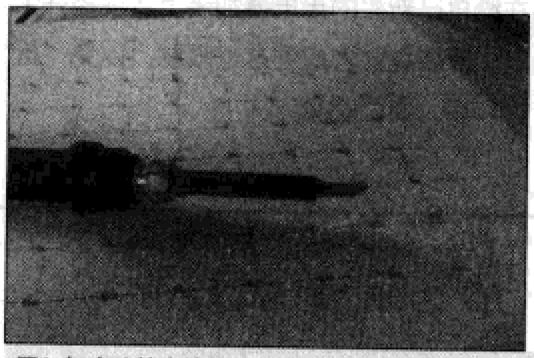


图1 打完孔的泡沫板

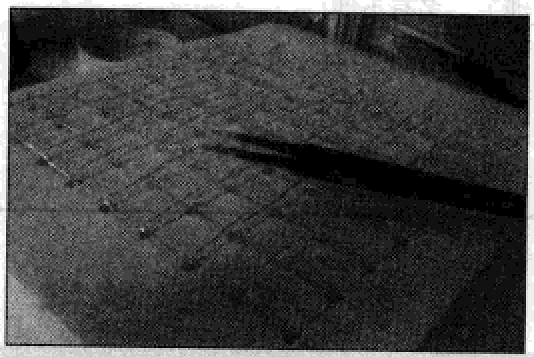


图2 将LED插入对应的孔内

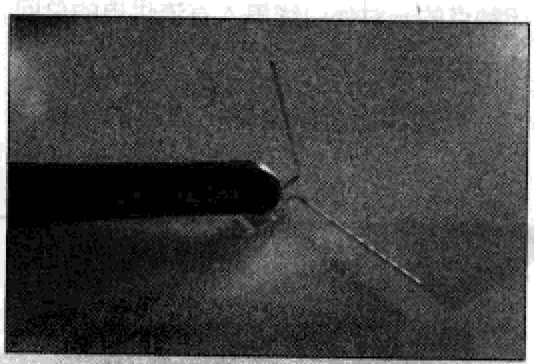


图3 LED引脚弯折细节

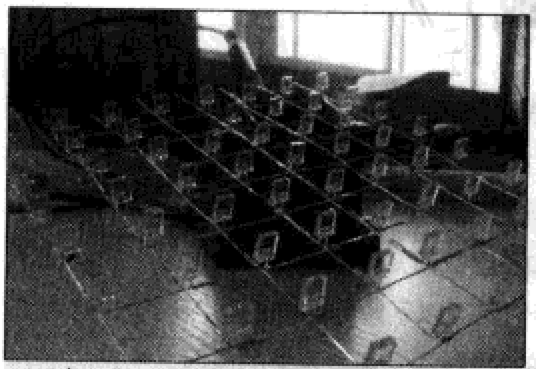


图4 焊好的一个面

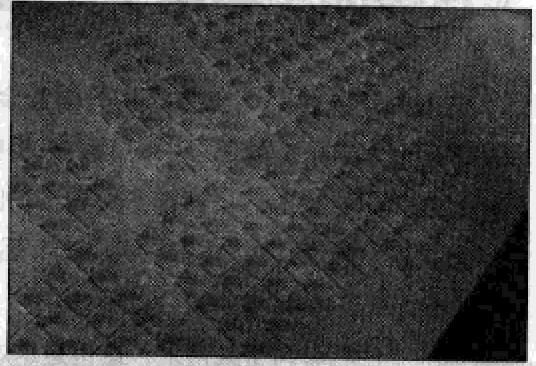


图5 所有的平面都焊接好了

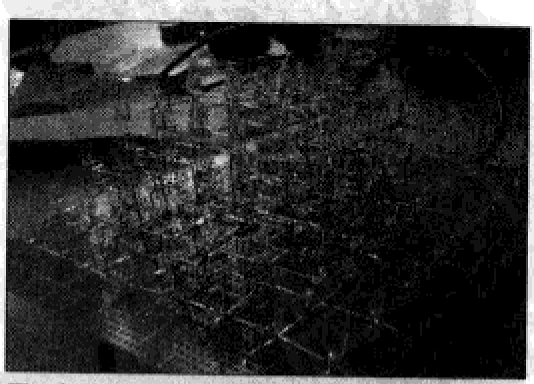


图6 各平面组装完成的效果

特别需要说明的是，LED正、负引脚的朝向完全取决于个人，影响的只是摆放顺序。不过正、负引脚一定要成90°，否则无法将这些灯珠构成一个平面。正、负引脚的弯折点也不能在同一水平面上（见图3），否则焊接到最后，你会发现正、负引脚会短接。引脚弯折的长度呢，在大于2cm的基础上，多出几毫米（具体情况视购买的引脚长度而定）这样就可以搭焊到临近的灯上了。

当你插好第一层的64个灯珠后，还要再做些准备工作，只要弯折的长度适合，引脚的末端会多出几毫米搭接到临近的弯折点上，给所有的焊点先上锡，时间不要过久，免得烧坏了灯珠。引脚上好锡后，在焊接时只需一手用镊子夹稳引脚，再用烙铁烫一下就好了，镊子夹的时候先矫正灯珠位置，确定无误后，再拿烙铁补上这最后一下，第一个平面就焊接好了（见图4）。

其实，对于有焊接经验的人来说，上面的这个步骤并不难，但有可能想不到用泡沫模板来固定LED，这样能保证灯珠“横平竖直”地焊接起来，避免了搭焊时不稳定的情况出现。一个平面搞定后，不要觉得这样就完成了，把灯取下来之前，先用万用表检查一下。数字万用表有专门检查二极管的挡，比机械的要方便些。这个检测步骤是为了确保你焊接好的灯珠都是会亮的，因为焊接的时候难免有灯珠被烫坏或者有正、负短接的情况。

把灯珠从模板上取下的时候，要比较轻柔。取下之后，再仔细检查正面和背面有没有焊锡不够的地方，因为在模板上你只焊接到了一面，另一面可能有焊锡不够、不均匀之处。小心地补上焊锡，这样以后就不易开焊了！要不然等上面几层组装后，你再想补修开焊点，那就困难了。制作这个LED金字塔，如同修楼，基础很重要。所以，不要怕麻烦，要有耐心，慢慢来。把这些问题都解决了，再去制作下一个平面。

第一个层的平面是8×8，第二个是7×7，以此类推，一共是7个平面，以后会越焊越轻松，毕竟这不是立方体。我以前也做了一个立方体，和师弟们一起焊接灯珠，用了很长时间。金字塔就快多了，我一个人几个小时就搞定了。如果是初学者焊接这个“金字塔”，那可要做好心理准备。其实，这个制作最难的不是LED灯珠的搭建，而是组装。相信我，你把几个平面都焊接好后，那还只是制作的一小步，更难度的还在后面。

图5是所有平面焊接好的效果，我用了4个小时，最后一个平面只有一个灯珠，最后焊接上就完成了。记住哦，焊接完后，要矫正那些不在一个平面上的点并检查坏点，也一定要补锡，确保以后工作的顺利，一劳永逸！

2. 结构组装

我采用的底座是一张大的万能板。第一个平面有16个电路连接点，即8正8负，正、负引脚是刚刚好呈90°的，建议大家也这么做。这样，第一个平面就可以很容易地焊接在万能板上了，和焊接直插元件没什么区别。第二层问题也不大，因为我买的LED灯珠引脚比较长，第二层刚刚好能立在第一层上面。

需要说明的是，从第二层开始，就得注意层面的摆放了。上一层的引脚向下弯折90°后，慢慢地向下放，保证引脚不能和下一层的短接。第一、二层没什么问题，从第三层开始，就有些难度了，越往后越难，因为引脚越来越密集，上层的引脚往下插的时候，需要反复用镊子矫正，才能完全放稳。而且从第三层开始，需要延长引脚了，我是用以前废弃的引脚来延长的，这花了我很长时间。我建议大家最好用细铁丝，先在铁丝表面上一层锡，这样以后就不会生锈，焊接也方便。在延长引脚的时候，因为我们的平面只有2个边是固定的，你会发现这样摆放上去的层面并不稳定，那么就需要再用细铁丝做一根固定柱，位置在平面把角的地方。

固定柱用废弃的引脚或细铁丝延长到与其他引脚高度一致即可，这样在重量上就平衡了。不要图省事就不加这根固定柱，那样重力会使得平面偏斜。当然了，也不

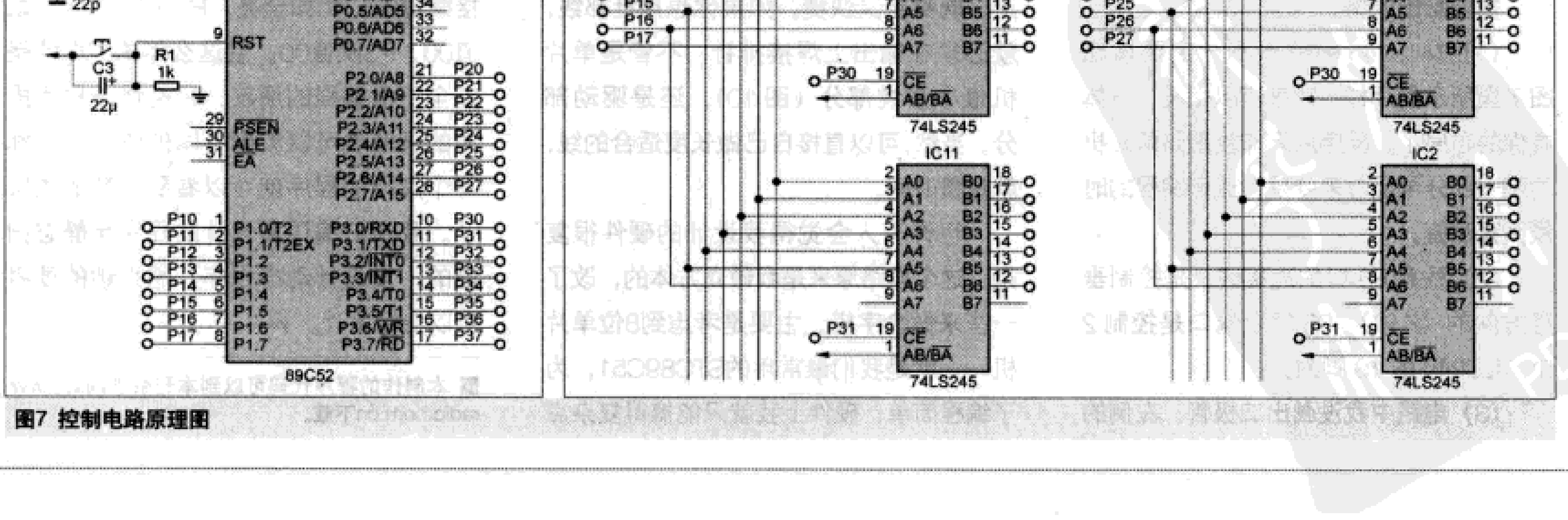


图7 控制电路原理图

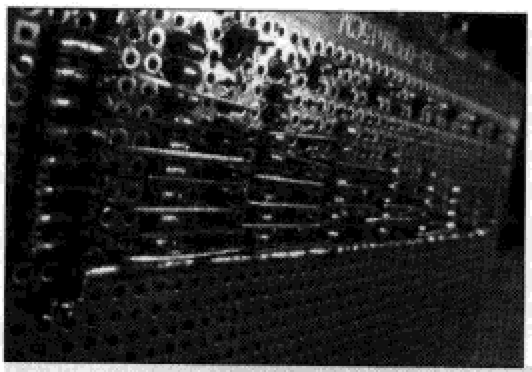


图8 74LS245输入并联焊接方式

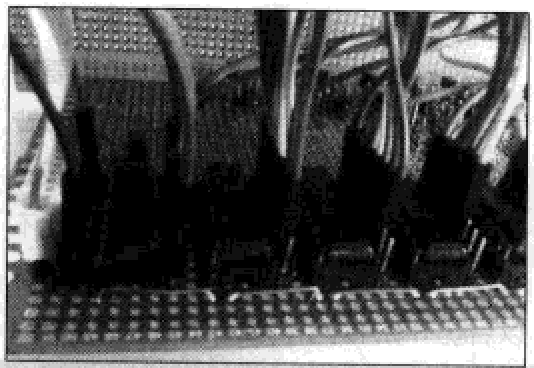


图9 74LS245输出的“懒人”焊接方法

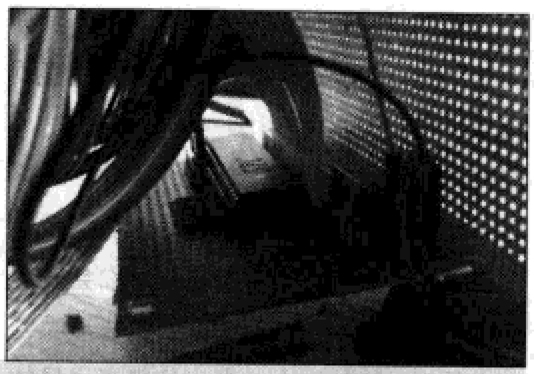


图10 单片机最小系统实物电路

是每层都需要，我是在第二、三、四、五层加了固定柱的，再往上就没加，因为上面几层的重量很轻，不会发生倾斜。

注意：第二层起，一定要保证每层的中心都在一个竖直方向上，上层的引脚都是穿插空隙过来的，只要你保证延长用的细铁丝（或废弃引脚）是竖直的，那么用镊子慢慢调整，问题不大。我在搭到第四层的时候，就发现难度加大了不少，因为空隙越来越小，所以大家一定要有耐心，求稳。组装完成的效果如图6所示。

3. 元件清单

本制作所需元器件如附表所示。

附表

名称	数量（个/件）	单价（元）	合计(元)	补充说明
长方形 LED（白发蓝光）	240	0.2	48	觉得贵的朋友可以更换其他的颜色和形状
74LS245	16	2.2	35.2	74HC245也可以，原理完全一样，但个人觉得LS系列比较稳定
20IC座位	16	0.14	2.24	
1kΩ 电阻	1	0.02	0.02	
STC89C52	1	3.3	3.3	
40P紧锁座	1	1.7	1.7	没有下载板的朋友还要购买下载板，网上多的是，STC的下载板都在40元左右
晶体振荡器11.0592MHz	1	0.24	0.24	
电解电容22μF	1	0.03	0.03	
微动开关	1	0.03	0.03	
22pF独石电容	2	0.06	0.12	
排针	5	0.16	0.8	单片机最小系统引端口用
杜邦线	4	6.4	25.6	给“懒人”跳线用，高手不需要
9cm×15cm万能板	3	1.25	3.75	觉得水平不高的多买几张吧
18cm×30cm万能板	1	7.5	7.5	
5V/2A电源	1	14.5	14.5	这个东西的电流还是不小的，强烈建议用2A的，自己有好电源的不必买
导线若干				
总计			143.03	

备注：实际开支要比这多些，因为很多东西网店都是几十、几百只卖的，比如电阻，至少也要买100只，电容等也都是这样。

4. 控制电路

接下来介绍一下整个制作的驱动电路和51单片机最小系统电路。控制电路的原理图如图7所示，是根据我以前制作的LED立方体控制电路修改的。原电路中使用了双向总线连接器74LS245，用于控制这个“金字塔”有些浪费端口，如果读者直接制作该控制电路，建议用HC系列的，价格上还是差不少的。

需要指出的是：

（1）74LS245的输入不一定要按照图7里所示的那样，顺序可以相反，具体看你的布局了。反序后无非就是到单片机的那一部分再反过来就是，或者编程的时候倒置赋值。

（2）注意P3口的连接线，是控制垂直方向的（Z轴），P3每个端口是控制2个74LS245的19脚的。

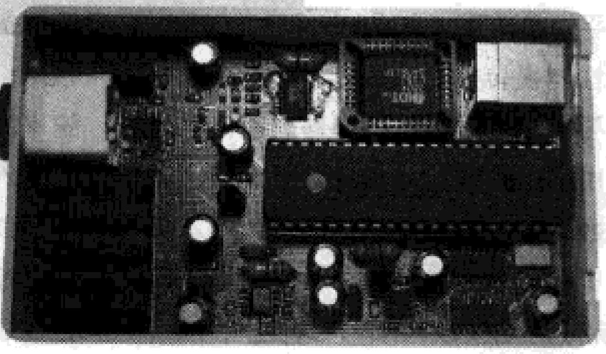
（3）电路中我没画出二极管，左侧的245输出接正极（X轴），右侧的245接负极（Y轴）。245的输入都是并联，我用的是跳线直接搭焊（图8）。至于输出，还是规规矩矩地使用走线吧。我购置了杜邦线，“懒人”可以直接把杜邦线的头去了（图9），把金属部分直接焊接到排针上，既稳定又快捷。如果你想用杜邦线，就必须在输出上焊接排针，不管是单片机最小系统部分（图10），还是驱动部分。当然，可以直接自己做长度适合的线，就是费时间。

也许有人会觉得我设计的硬件很复杂，这个电路原来是我做立方体的，改了一些来做金字塔。主要是考虑到8位单片机——就是我们最常用的STC89C51，为了编程简单，硬件上我就只能搞得复杂点了，所以没用什么138、595做级联。这样做的好处就是，单片机部分你只用管3个端口：P2控制X轴（二极管正极），P1控制Y轴（二极管负极），P3控制Z轴（即垂直方向，低电位有效），你的所有编程都是围绕这3个端口，而且都是直接赋值的，比如全亮：P1赋值FF，P2赋值00，P3赋值00。就这么简单，即便是完全不懂编程的朋友，只需修改程序里面的表值就可以看到不同的效果了！你写个几行的程序就可以看到全亮的效果了。我用汇编语言设计的程序是静态扫描的，没设计动态程序，感兴趣的读者可以自行设计。

■ 本制作的程序代码可以到本刊杂志网站www.radio.com.cn下载。

◇孙红生　代锡泉

自制50M采样率的USB接口示波器



笔者于2007年使用PIC18F2550单片机制作了一台采样率330k左右的USB接口示波器（发表在本刊2007年第10期），由于那台示波器仅使用了单片机内置的模数转换器，尽管笔者已经对其进行了超频，但对于正弦波的测量一般限于30kHz以内，所以应用仅限于音响等音频领域和汽车维修等机电领域，对于电子爱好者常见的模拟电路、数字电路和单片机等领域的相关测量就显得捉襟见肘了。

参考了本刊魏坤、张杉杰、吴汉清三位老师的作品，笔者对之前的USB接口示波器进行了改进，使用外接模数转换器和双端口RAM，将采样率提高到了50M，可以对5MHz以下的信号进行较好的测量。图1所示分别为使用本机测量1.26MHz方波和5MHz信号的结果。

对比三位老师的作品，USB示波器由于使用了PC机作控制和显示操作，不仅省略了显示器件和按钮、按键，同时由于使用了USB接口，还简化了电源电路，使本机体积更小、重量更轻，显示、操作更加直观、方便，显示内容更多，屏幕分辨率更高，成本更低。此外，由于实现了软件主体部分PC机化，更便于二次开发和功能扩充。

电路原理

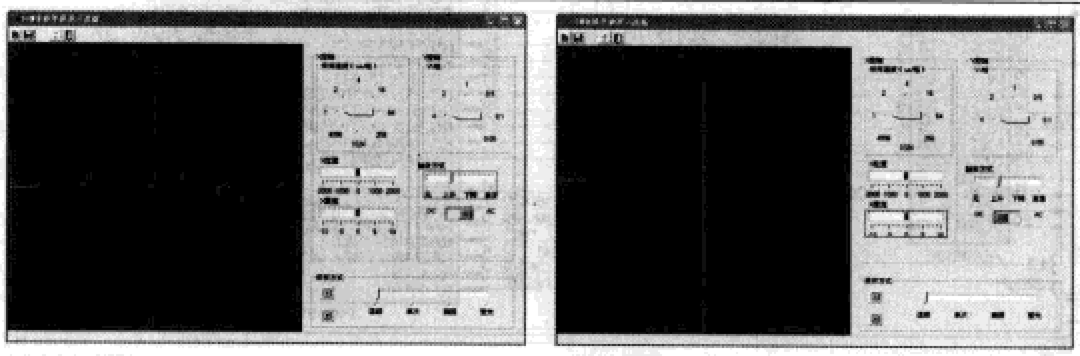
本机的电路原理图见图2，从图中可以看出，电路主要由输入信号调理、输入阻抗变换、信号放大、电平转移、模数转换、高速缓存、单片机核心、分频器、电源变换和USB接口等10部分构成。

对比魏坤、张杉杰、吴汉清三位老师的作品，为便于电子爱好者仿制并降低成本，我对模拟部分进行了改造，减少了特殊器件的使用，降低了成本，实现了免零点调整直流通道。以RL1～RL5为核心及周边的阻容网络构成输入信号调理级，完成输入信号的AC-DC转换与输入信号的衰减，其中RL1与C22共同完成DC/AC切换功能，C23、C27、C28、C31与R10、R13、R15、R19构成的阻容网络与RL2-RL5构成输入挡位切换，完成输入信号衰减功能。本机的继电器均采用5V/500Ω的干簧继电器，因此只需10mA电流即可驱动，由于单片机每个脚的驱动能力为20mA，因此干簧继电器可以直接使用单片机的I/O口驱动。不过由于干簧继电器内置了保护二极管，所以需要注意干簧继电器的两个驱动脚是有方向的。

LM6172是一款带宽达140M的宽带双运放，其中一个运放接成射随器，与R18构成了输入阻抗变换级，VD3、VD4用于对输入级的保护，在输入信号电压过高时提供一定的保护功能，另一运放与周边元件共同构成了2、20倍可编程

技术指标

最高采样率： 50MSa/s
模拟带宽： 5MHz
输入阻抗： 1MΩ
垂直灵敏度： 4V/div、2V/div、1V/div、0.5V/div、0.1V/div、0.05V/div，共6挡
水平扫描速度： 1～4096μs/div，共8挡
触发方式： 内触发（上升沿、下降沿）
接口方式： USB
供电方式： USB
操作系统： Windows 2000以上



1.26MHz方波　　5MHz信号

图1 本机测量显示效果

正向放大器，本级与输入信号调理级配合，共同完成垂直灵敏度的调整。R8、R12、R14、R16、IC7与5V电源共同构成电平转移电路，完成±5V到1.5～3.5V的线性电平转换，以适应后级对输入电平的要求。经过前四级调理的模拟信号进入由ADS830E担当的模数转换级，完成模数转换，ADS830E接成单端输入模式，电压转换范围为1.5～3.5V，VD5、VD6完成对ADS830E的输入端保护。双端口RAM IDT7205构成高速缓存，用以协调ADS830E与单片机之间的速度差距，这部分的工作原理与魏坤等几位老师的电路基本相同，请参考以前本刊关于此的相关介绍。

单片机使用了Microchip公司生产的带全速USB接口的8位高档单片机PIC18F4550，芯片为40/44脚封装。该单片机除了具有PIC单片机所特有的精简指令集（RISC）、数据总线和指令总线相互独立的哈佛（Harvard）结构等特点外，还配备了自编程闪存存储器以及纳瓦节能技术，工作频率达48MHz，USB数据传输速率高达12Mbit/s。单片机的A口主要用于输入信号调理电路的切换控制，B口用于和IDT7205接口，C口用于USB接口和分频器控制，其中分频器控制与IDT7205的控制还使用了部分D口数据线。B2、R21与C32构成USB单片机最小系统。

本机的采样速率控制吸取了本文开始提到的几位老师的设计优点，并参考网上的意见进行了适当的简化，仅使用了两片廉价的COMS芯片74HC4040和74HC4051，就完成了采样率的切换，降低了功耗和成本。由于前级运放工作需要正负电源，同时电平转移电路需要稳定的5V电源，因此本机使用了两片34063和3片三端稳压器件，提供了±9V和+5V电源，其他部分的工作电源均直接取自USB接口。

程序编写

硬件是肉体，软件是灵魂。本机的软件分为两部分，单片机部分的软件采用PICC编写，PC机部分的软件采用C++builder编写。

单片机部分的软件主要分为与双端口RAM接口、分频器控制、继电器控制及USB接口等部分，由于本机的显示与控制在PC机中完成，因此单片机部分的软件尽量简化了，仅完成了信号采集和垂直灵敏度、采样率控制等功能，信号的显示、计算、分析、触发和保存部分均由PC机完成，尽量实现功能上移，提高了

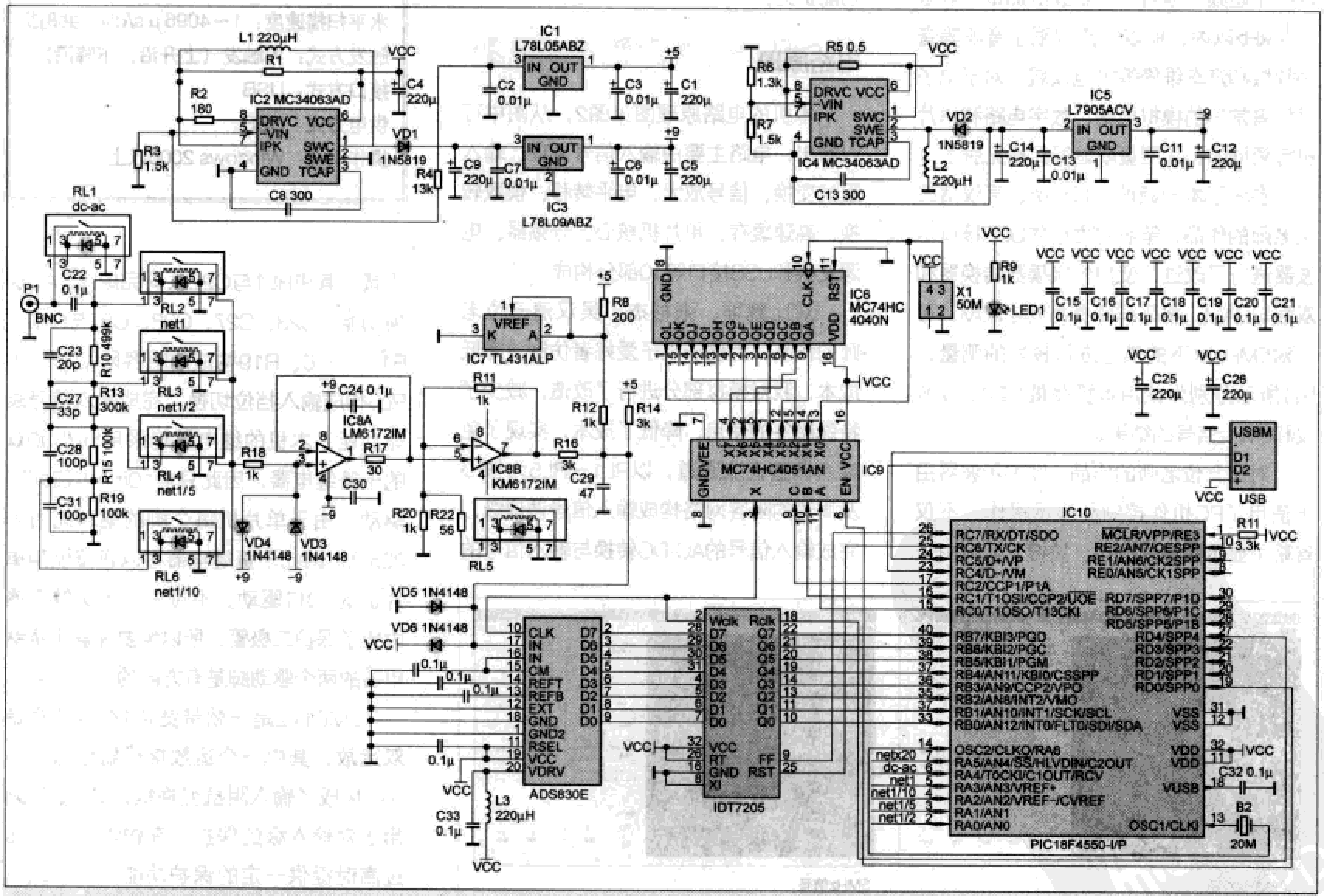


图2 电路原理图

系统的可靠性及计算资源丰富的PC机的利用率。其中，USB接口部分采用了UID协议，因此本机在Windows 2000以上环境下使用时，使用操作系统内置的驱动程序即可，无需安装任何驱动程序。PC机与单片机之间采用查询方式工作，在系统时钟的推动下，PC机与单片机间定时通信，完成数据的采集与显示工作。

安装与调试

本机的主要零部件见附表，为了保证性能，最好采用贴片器件。

由于工作频率较高，笔者也曾在洞洞板上面调试过这个电路，但困难较大。建议采用双面板完成安装调试，布线时特别要注意时钟线不要过长，同时双面板尽量双面覆铜，以期降低各类干扰。IDT7205要采用15ns以下的型号，继电器要采用吸合电流20mA以下的型号。

安装调试过程中，如果有其他示波器或逻辑笔作为辅助，调试效果会更好。电源部分可以先安装，调试可以使用万用表，IC2和IC4的输出，VD1的负极和VD2的正极分别为±12V，7809的输出为9V，7909的输出为-9V，7805的输出为+5V。如果测量参数不符，可检查对应的周边电路。单片机的RA口的各输出也可以使用万用表测量。

当单片机及周边安装完成与PC机连接后，PC机会提示有一个名为“www.sunxd.com”的HID设备接入，这时运行PC端程序，并调整Y控制的各挡位，则RA0、RA1、RA2、RA3、RA5口可以测到高低电平变化，改变DC/AC输入方式，RA4口可以测到电平变化。

模拟信号部分的调试可以将示波器置于DC输入，1V/格挡，在输入端接1.5V电池，则LM6172的3脚、5脚分别为1.5V，7脚为+3V，AD830E的17脚为3.1V，如果不正确，应检查周边电路。

其他各部分的调试则必须使用示波器或逻辑笔了，其中除了单片机各输出口是调试的关键点外，74HC4040的1～7、9、12～15都应有连续的脉冲信号输出，74HC4051的3脚、ADS830E的10脚、IDT7205的2脚应有短促的脉冲信号，ADS830E的2～9脚也应有短促的脉冲信号，IDT7205的Q0~Q7的输出信号的脉冲存续时间应稍长。图3是实际电路的图片，供制作参考。

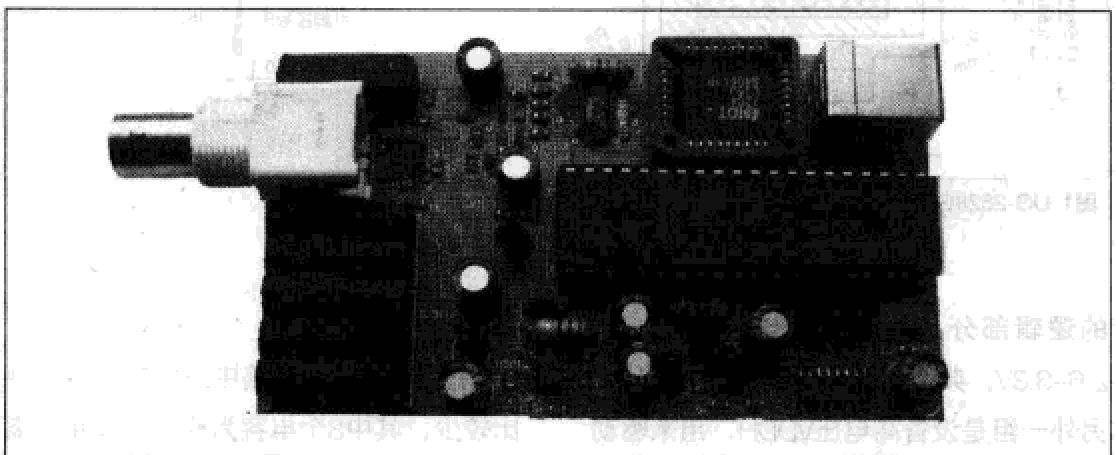


图3 电路实物

操作使用

本机的使用与普通PC机软件和普通示波器的操作具有很大的相似性，既可以先启动PC机软件，也可以先将本机插入主机USB口，系统都会正常工作。将本机从USB口拨出，PC机软件可自动退出。PC机软件的主界面分为5个部分，工具条、波形框、*X*控制框、*Y*控制框和采样方式控制框，工具条从左至右分别为打开波形、保存波形、帮助和退出按钮，如前面的图1所示。

在波形显示框提供了波形显示、波形参数显示等功能，在波形显示框按下右键则波形显示暂停，提供“HOLD”功能，使用左键在画面拖动则可测量波形参数，边沿触发值的调整也是通过鼠标左键的拖动完成的，*X*控制框可以控制采样速度、波形的横向滚动和波形的横向压缩与扩展，*Y*控制框可以控制垂直灵敏度、触发方式和AC-DC切换。本机提供了连续、单次、捕捉和莹光4种采样，在单次和捕捉采样方式中可以按下PLAY键进行下一次采样。相信熟悉PC机软件操作和示波器操作的读者经过简单的摸索即可上手。图4是将电路安装在100mm×60mm×25mm标准防水盒后联机工作的场景。

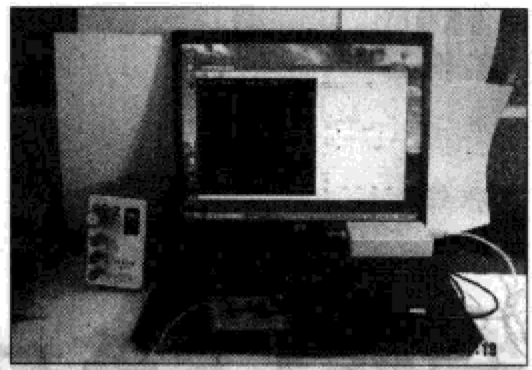


图4 使用场景

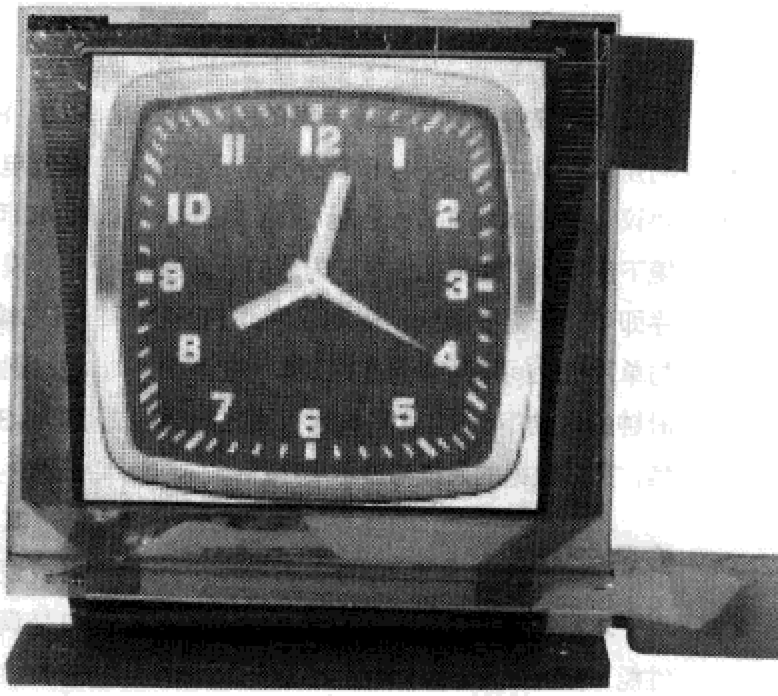
附表 主要零部件

名称	数量	备注
PIC18F4550	1	DIP
20MHz晶体振荡器	1	
50MHz有源晶体振荡器	1	5mm×7mm
IDT7205双端口RAM	1	15ns
ADS830E60MAD	1	
LM6172	1	
34063	2	
7809	1	100mA
7909	1	100mA
7805	1	100mA
74HC4040	1	不能使用CD4040
74HC4051	1	不能使用CD4051
TI431	1	2.5V电压基准
1N5819	2	不能使用1N4148
电阻、电容	若干	

注：更详细的元器件列表可到本刊网站www.radio.com.cn下载。

■ 本机的单片机程序、PC软件和PCB布线图可在本刊网站www.radio.com.cn下载。

◇张锋



制作1.5英寸OLED真彩色指针式电子表

本制作功能及特点

1. 使用真彩色1.5英寸高亮度OLED显示屏，显示效果奇佳，展现出艳丽的色彩与全视角的显示效果，
2. 主显示界面采用机械手表外观，指针边界平滑，走时效果顺畅，软件层增加了优化渲染与阴影效果，仿真度极高，
3. 超小尺寸制作，成品长宽只有3.6mm×3.6mm，与OLED屏尺寸基本相同，组装采用层叠式结构，可制成超小型显示设备，
4. 采用STM32-103系列处理器，具备高速处理能力与丰富的片上资源，单芯片即可实现所需功能，电路简单、零件少、成本低，
5. 板上带有可充电式微型锂电池作为后备电池，当主电源掉电后，可在一定时间内维持RTC实时时钟正常走时，
6. 制作采用全贴片零件，尽量将厚度做到最小，PCB四周包含4个调整用的微型侧按按钮，日后制作配套外壳时可方便使用按键功能。

器件选择

1. UG-2828真彩色OLED显示屏

本制作选择的OLED屏幕的型号为UG-2828GDEDF02，属于OLED真彩色显示屏，此屏外观尺寸为33.80mm×34.00mm×1.70mm，有效显示部分的尺寸是26.855mm×26.864mm，厚度仅有1.6mm，重量只有4.0g，很薄、很轻。屏幕的显示为128像素×128像素，水平每个像素由RGB三像素组成。屏幕驱动芯片为SEPS225，可支持18位262K色（R:G:B=6:6:6）或16位 64K色（R:G:B=5:6:5）的显示模式，数据接口支持8080/6800并行及3线SPI串行模式。芯片封装于FPC软片上，通过间距为0.5mm的30Pin的FFC插片进行连接。

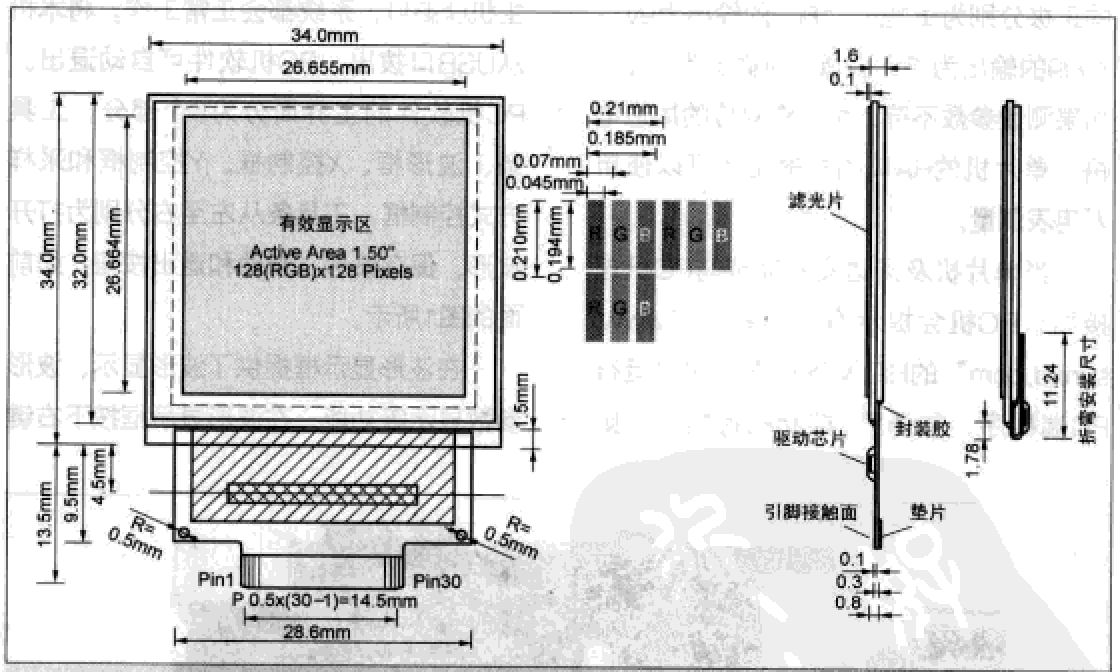


图1 UG-2828GDEDF02模块尺寸图

驱动此OLED屏需要提供两组电压，一组是逻辑电压，用来驱动屏载芯片的逻辑部分，这部分的电压推荐值为2.6~3.3V，典型值2.8V，最高不超过4V，另外一组是设备高电压VDDH，用来驱动OLED屏像素的显示，典型值为13V，最大不超过19.5V。

OLED屏驱动电路中所需的外围零件比较少，其中3个电容为稳压滤波用，需要注意VDDH部分的两个电容的耐压值，

另外两个零件是参考电阻与振荡电阻，使用普通贴片电阻即可。

电路中除了电源供电部分外，剩余引脚基本都是数字I/O连接，其中的Export1为内部振荡输出测试用，可以不必引出焊盘，CPU与PS引脚为设置数据总线模式与数据格式用，D17~D9为数据总线，RS、CSB、RDB、WRB为数据/命令读写控制线路，RESETB为复位。

2. 单片机选型

本制作考虑到对单片机速度、内存、功能都有一定的要求，且对价格也比较敏感，使用STM系列32位处理器作为驱动是比较合适的。通过综合比较与实验，最后选定STM32F103C8T6作为实际使用的芯片。选择STM32F103C8T6的主要原因是：在STM32系列中，目前其零售价格最低，且为48脚LQFP封装，尺寸小巧，同时具备72MHz主频，提供64KB的FLASH与20KB的SRAM，包含定时器、SPI、I^2C、UART、USB、CAN以及10bit ADC等丰富的资源，符合本制作对单片机资源的需求，同时还考虑到其片内包含一个可由电池维持的RTC，且有单独的VBAT掉电维持电源接口，适合制作电子计时器类的应用。

使用STM32系列处理器需要特别注意的一点就是，外部晶体振荡器及匹配电容的选择非常关键，否则极容易出现晶体振荡器不起振的问题，尤其是STM32的RTC所使用的32.768kHz，需要选择6pF负载电容的晶体振荡器，使用普通的12.5pF的晶体振荡器，会出现不起振或者晶体振荡器启动时间过长的问题，环境温度低时尤其明显，易导致设备无法正常运行。

3. RTC维持所需电路元器件选型

STM32本身就带有内部RTC电路，而且提供一个单独的引脚VBAT用以连接RTC维持供电电路，维持电流仅需1.4μA。在通常的STM32应用设计中，这一引脚一般与1220电池连接。但是本制作PCB尺寸的限制，1220电池的尺寸过大，不适合本制作。所以需要选择一种尺寸更小、符合需要的维持电池或法拉电容作为掉电时的供电用途。考虑到一般主电源断电时间不会很长，使用后备电池的目的主要是维持短时间的时钟走时，可以选择容量较小，但是最好可反复充电的后备电源器件。通过资料的查阅与比较及试验应用，最后选择了414系列电池可充电电池作为后备电源器件。这一系列有多种规格，其标称电压为3V，容量为<2mAh，最大放电电流0.15mA，外观直径4.8mm，高1.4mm。414系列电池在手机、GPS等设备中很常见，体积小巧、寿命长，在20%放电的情况下可反复充电1000次，完全放电情况下可反复充电100次，非常适合如RTC、RAM数据维持等应用。与414电池同规格封装的器件也包括法拉电容系列，414法拉电容典型容量为0.08F，与可充电电池相比容量较低，但法拉电容具有可反复充电上万次的特性，寿命更长，读者可根据需要进行选择。

3. OLED高压电路元器件选型

DC/DC升压电路部分采用专用的DC/DC转换芯片进行转换，将5V输入电源转换成13V高压输出，以驱动OLED显示，全屏点亮时所需要的最大电流是36mA。就OLED高压驱动电路而言，一般选择以电感为升压零件的Boost升压电路，理论上看，应该选择带有全关断功能的转换芯片。当使用无全关断功能的芯片时，应当在DC/DC电路的主供电线路上增加一个MOSFET或BJT作为电源开关，以便在屏幕关闭时，完全切断DC/DC电路的供电电压，防止输入电源通过电感与二极管为OLED供电，出现漏电电流。

OLED所需的13V驱动高压由DC/DC专用芯片实现，在转换芯片的选型上，考虑到电路转换效率及PCB尺寸的限制，选用了TI公司生产的高效的TPS61040转换芯片，组成典型的Boost升压电路。由于TPS61040的最高工作频率可达1MHz，意味着转换电路中的电感可选择较小的容量，这样在同等工作电流的情况下，可以使用尺寸更加小的电感。实际上本制作选择的是22μH的小型Sagami磁屏蔽贴片绕线功率电感，电感尺寸大约只有3mm×3mm×1.5mm，完全满足升压的需要。

在实际制作过程中，考虑到带有全关断功能的DC／DC转换芯片价格比较高，而增加外部零件作为开关时，容易造成PCB上布线困难，而本制作主要依靠外部电源供电，对漏电电流不敏感，所以在实际设计中没有使用全关断方案。

4. 按键开关选型

电路中总共有4个按键，分别设计在左右两侧各两个按键，所使用的按键规格是小型侧面按键，实际使用的是ALPC SKRELGE010系列，俗称“小乌龟开关”，主要考虑到这一类型的按钮外形小巧，接触片为左右展开型，业余条件下焊接容易，而且底部带两个安装定位用的小支柱，可以作为受力点，确保焊接到PCB上的按钮安装稳定，便于按动。同时使用侧按开关的目的也是为了在今后制作外壳时为方便设置按键杆做考虑。

5. 电源电路元器件选型

实际选择的LDO型号为PAM3101，

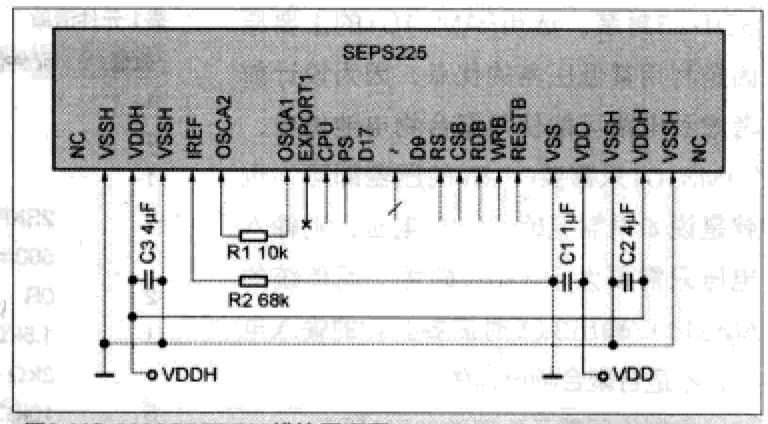


图2 UG-2828GDEDF02模块原理图

SOT-23封装。选用PAM3101的主要原因是利用其低压差的优点，因为设计前考虑到电路可能使用聚合物电池供电，PAM3101只需要0.18V的压差即可，也就是说如果需要输出3.3V电压，则输入电压只需要大于3.48V即可，而传统的AMS1117输出3.3V时需要4.4V的输入电压，不适合聚合物电池供电。

本制作所需元件清单如表1所示。

表1 元件清单

数量	元件值	元件名称	元器件标号
1		87758-0216	X1
1		87758-1016	J
1		DIODE-ZENER-BZT52	VD1
4	2SKRELGE010	SWITCH 侧按开关	S1, S2, S3, S4
1	500mA	VARISTORCN1206 自恢复保险丝	R16
2	0R		R2, R4
1	1.5kΩ		R3
1	2kΩ		R14
5	10kΩ		R7, R9, R10, R12, R18
2	22Ω	RESISTOR0603-RES	R1, R13
1	30Ω		R8
1	68kΩ		R17
1	Ref1		R5
1	Ref2		R6
1	0.1μF	CAP0402-CAP	C8
3	0.1μF		C4, C5, C6
2	1μF		C10, C17
2	6pF	CAP0603-CAP	C3, C7
1	10μF		C9
2	12.5pF		C2, C16
1	1μF		C20
1	1μF		C19
1	10nF	CAP0805	C1
2	4.7μF/ 25V		C14, C18
1	1μF/25V		C13
1	2.2μF	CAP_POL1206	C15
1	8MHz	5032-2P 主晶体振荡器	B1
1	13V	DIODE-ZENER-BZT52	VD
1	22μH	INDUCTOR功率电感	L3
1	32.768kHz	MC-306 时钟晶体振荡器	B2
1		CAP0805，根据升压芯片选择使用	C12
1	IN4148	DIODESOD	VD2
1	schottky		VD3
1	R8T6	STM32F10XCXTXTQFP48 单片机	IC1
1	RB414II06E	RB414II06E	BAT1
1	TPS61040	V_REG_TPS61040SMD DC/DC升压	U$3
1	UG-2828GDEDF02	FH12-30S-0.5SH	X3
1	USB	USB-MICROB	X5
1	USB_ENABLE	JUMPER-2SMD-NO	JP4
1		V_REG_LDOSMD	

电路结构

由于STM32-103C系列资源很丰富，本应用的重点功能也是驱动UG-2828真彩色OLED屏，所以除了电源电路以外，剩余的电路基本都是围绕着STM32芯片配套的辅助电路。整个核心电路结构基本可以视为一个STM32最小板与OLED驱动板的组合，所以整体电路结构相当简单，分成电源电路、OLED电路、单片机电路3个主要部分。

电路主供电部分由Micro USB引入5V直流电。由于单片机及OLED显示屏逻辑部分提供需要3.3V供电，电路中使用了一个LDO，实现5V转3.3V的降压功能。如果想提高电源效率，也可使用DC/DC型降压电路，这里的3.3V电压主要供逻辑部分使用，其电流不大，所以选择使用LDO进行转换。

就实际应用经验来说，为了保持OLED屏产生稳定的显示效果，避免出现亮度不一的显示问题，需要特别注意提供给OLED显示器件的驱动高压的稳定性。所以本电路除了做好高压的滤波设计外，还在后极增加了一个简单的稳压管稳压电路，以期获得更加稳定的驱动高压。

OLED与单片机的连接部分主要是地址总线与部分控制线的相互连接，设计中将PA口的低8位作为数据总线，控制线与PB口连接，分开两个不同的端口连接一是考虑到布线方便，二是程序设计上也比较方便。数据总线只使用了8位，意味着OLED屏幕只能以16位色显示（64K真彩色），主要还是考虑到编程的方便与单片机器内部RAM的容量限制。

单片机本身的辅助线路主要是两个晶体振荡器，8MHz的晶体振荡器提供主工作频率，通过单片机内部进行9倍频后，提供72MHz的主工作时钟，另外一个是耦合电容为6pF的32.768kHz时钟晶体，供应内部RTC计时使用。

为了防止掉电丢失计时数据，RTC使用连接到VBAT引脚的外部可充电电池维持供电。由于使用可充电式电池，必然要设置充电电路。为了防止电路复杂化，这里使用了二极管隔离，外加电阻限流的最简涓流充电电路，限流电阻选择2kΩ即可。在414电池无电的情况下实测，连接2kΩ限流电阻，外加3.3V电压充电，大约2小时后电池可以充到2.5V以上。记得首

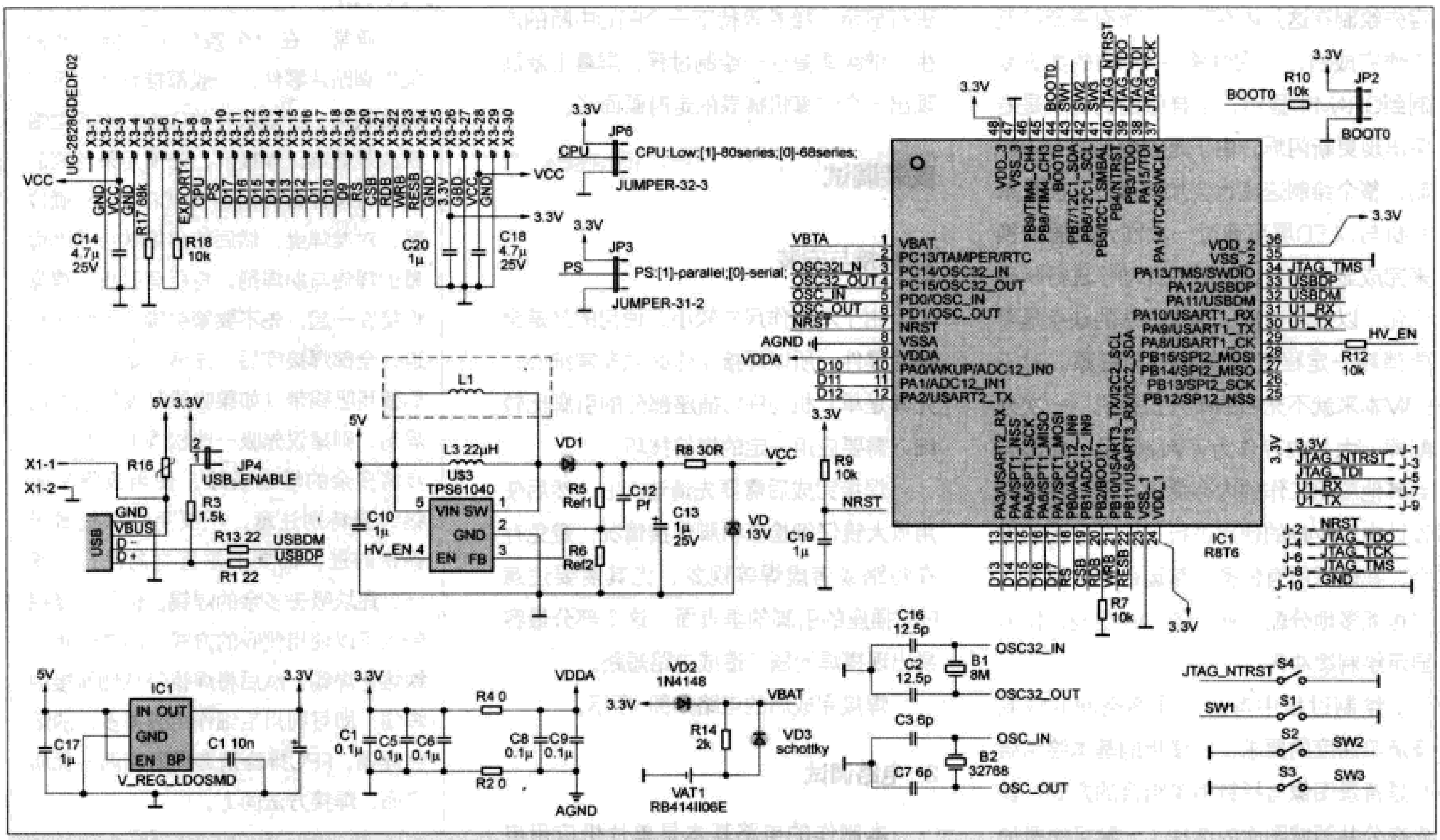


图3 电路原理图

次使用时，应先让414电池电量充满后才可正常实现RTC断电维持功能。

为了便于在板上对单片机编程及调试程序，板上通过跳线及2.0mm间距排针的形式，引出了所有与编程相关的引脚，支持串行、SWD、JTAG这3种写入模式。本制作推荐使用SWD模式，只需要直接连接3根线即可，自己制作3根2.0mm插头转2.5mm插针的转接线，不需要制作外接电路。对于JTAG模式，由于板上一些相关的JTAG上/下拉电阻没有设置，需要制作转接板方可连接。对于串口下载模式，板上附带了BOOT0与BOOT跳线口，需要根据状态自行设置，缺点是设置比较麻烦，优点是不需要专门的ULINK/JLINK编程器。

最后记得，如果需要正常从片内Flash启动程序，单片机的BOOT0脚需要接地，即JP2跳线部分需要焊到地。更多关于编程接口及设置细节请参考STM32官方参考手册。

软件设计及实现

考虑到使用普通I/O口模拟时序，以实现对OLED的控制及内部GRAM的读写，如果仅用于输送显示数据到GRAM，刷新速度上是没有问题的，但是如果直接利用OLED内部的GRAM作为通用绘制内存的话，就会出现两大问题：其一是屏幕更新速度过慢，其二，由于GRAM内的数据修改会直接表现在屏幕上，所以整个内部绘制过程将完整地在屏幕上即时展现，不仅表现效果不佳，而且容易出现更新闪烁的现象。

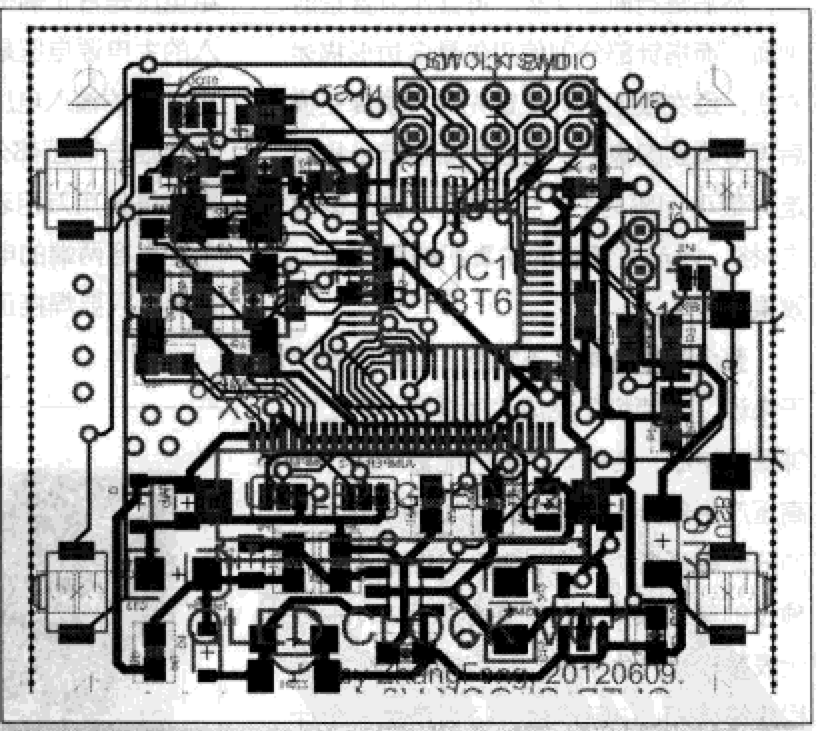


图4 PCB图

制作中采用的解决方法是在单片机的内存中先开辟一块与显示区对应的内存区域，作为VRAM区域，将所需绘制的内

容先绘制在这片内存中，待所有更新绘制工作完成后，一次性将VRAM内的数据复制到GRAM中显示，这样做的优点就是避免出现更新闪烁。由于是在内部内存中绘制，整个绘制速度也会加快很多，而且单片机与OLED屏可通过一次性大数据交换来完成显示更新，可针对此动作进行代码优化，以提高速度。这个方法的缺点是需要消耗一定程度的内部RAM资源，对于RAM本来就不充裕的单片机来说，一次分配掉一大片内存作为VRAM使用，会影响到其他应用工作的内存需求，所以在代码设计中对RAM的使用进行了非常仔细的规划，在确保所有任务正常运行的前提下，尽可能多地分配出剩余的RAM空间，作为显示绘制缓冲区。

绘制过程中考虑到程序空间的限制及渲染速度的要求，所使用的基本绘制结构是背景图像与指针渲染结合的方式。首先在公共领域图库内选择了一套可免费使用的时钟渲染效果图，利用软件去除掉其中的指针部分，将图像缩小到所需要的尺寸，然后进行RLE压缩，将其作为背景时钟面。而指针部分则使用矢量多边形描述方式，每次根据指针位置先进行仿真变换后再渲染到图像上，最后刷新显示。指针走时最小间隔为1°，每秒走6次，每次走1格，以产生细腻的仿真机械表的走时效果。

整个软件结构并不复杂，从程序的主干来说，单片机先完成主时钟源、RTC时钟源、中断、各端口功能的配置以及开启高压产生部分、OLED初始化、VRAM内存的分配等任务，然后设置RTC中断源，以预设的赫兹数产生计时中断（例如1Hz则代表整秒时产生中断），完成初始化后，程序等待RTC中断产生。每当产生一个计时中断，程序先将时钟背景绘制到VRAM中，接着在RTC中读取时、分、秒数据，根据当前的时、分、秒数据在VRAM中已有的背景层上对应的位置与角度绘制出手表对应的指针，绘制完成后，将VRAM中的数据一次性复制到OLED的GRAM中进行显示。接着等待下一个RTC中断的产生，继续重复这一绘制过程，屏幕上就展现出一个仿真机械表的走时画面了。

安装调试

1. 焊接与安装

由于本制作尺寸较小，使用的又是全贴片零件，所以焊接工作必须非常细心，尤其是单片机与FPC插座部分的引脚比较细，需要应用一定的焊接技巧。

焊接完成后需要先清洁PCB，然后使用放大镜仔细检查引脚焊接情况，避免存在短路或者虚焊等现象，尤其需要注意FPC插座的引脚的垂直面，这个部分最容易出现搭焊问题，造成电路短路。

焊接完成后的电路如图5所示。

2. 电路调试

本制作的电路基本是单片机应用电路，整体电路中无可调节零件，所以调试工作比较简单。首先是检查电源部分的3组电压是否正确提供，通过USB或排针引入的主电源电压是否存在，例如USB供电应有5V的输入电压。接着测试LDO输出的3V电压与高压部分的13V高压是否生成，方法是使用万用表测量板上C15和C13两个钽电容两端的电压是否正确。数字电路部分，只要焊接正确，基本上都可以正常运行，应当特别注意的是32.768kHz晶体振荡器是否起振。如果屏幕有显示，但是指针无走时，说明32.768kHz晶体振荡器部分有问题，请更换合适的6pF晶体振荡器尝试。STM32的8MHz主晶体振荡器也容易出现不起振的问题，请更换不同值的适配电容后再尝试。STM32的模拟供电引脚也要连接上供电，以防止芯片不工作。

TIPS

通常，在业余条件下焊接这些密集引脚贴片零件，一般都推荐使用平底的烙铁头，合适尺寸的C型或者CF型烙铁头是首选。焊接前，先使用茶色高温胶带将零件暂时固定在PCB上的正确位置，对准焊盘，然后使用烙铁头带上适量的焊锡与助焊剂，将所有引脚与焊盘焊接在一起，先不要管引脚上的焊锡粘连，全部焊接完后，先清洁烙铁头，然后使用吸锡带（如果吸锡带没有预涂助焊剂，则建议先吸一些松香上去），逐步将多余的焊锡吸除。使用吸锡带吸锡时要特别注意，不要用烙铁拖着吸锡带前进，而要沿垂直方向进行，逐一、逐块吸去多余的焊锡。优质的吸锡带也可以使用侧吸的方式，即先使用烙铁熔化焊锡，然后将焊锡带从侧面接触焊锡，即可利用毛细作用吸掉多余的熔化焊锡。FPC排座请选择耐高温的优质产品，焊接方法同上。

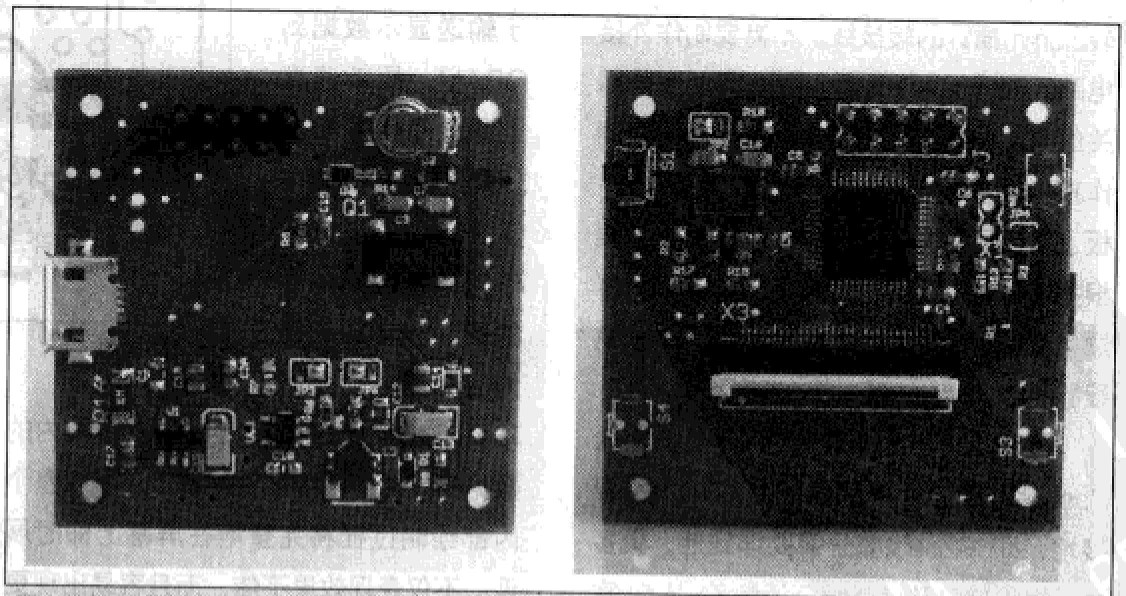


图5 焊接完成后的电路

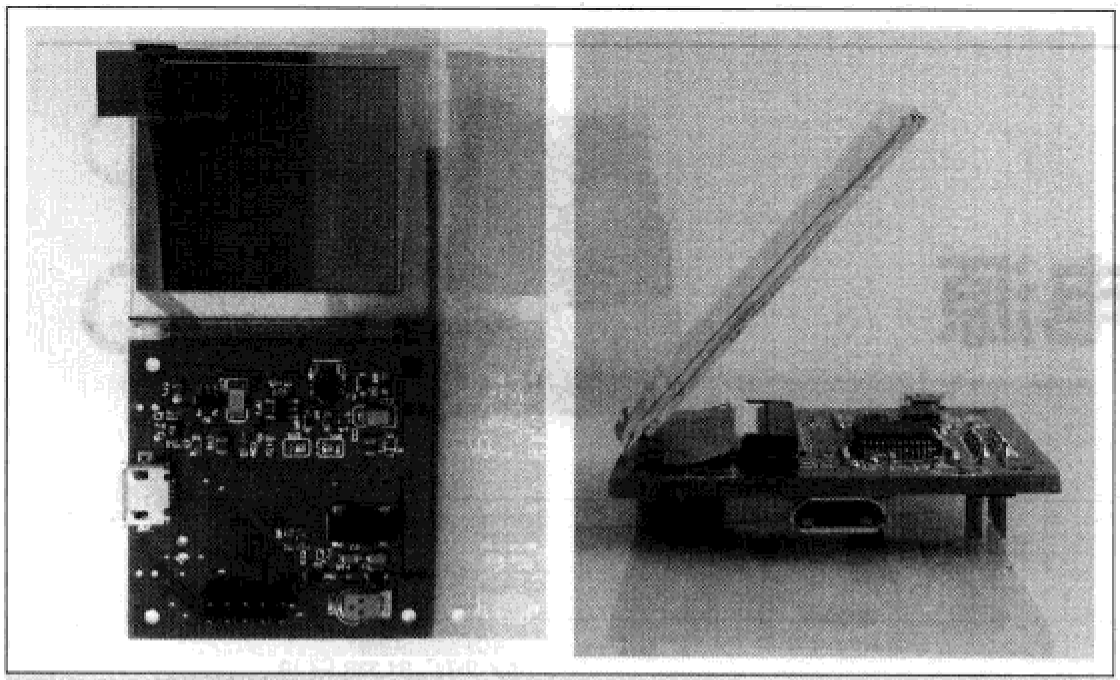


图6 制作完成的电子表实物

制作及使用小经验

◆ OLED模块安装时的注意事项

OLED应用中，为减少屏幕占据PCB面积，通常将OLED屏的FPC以弯折形式进行安装。在本制作中，为了尽量减小成品的尺寸，也使用弯折的方式进行安装。一般情况下，根据FPC弯折方式及所处的PCB安装面的不同，需要使用对应的FPC插座与其配套。弯折安装通常有两种方式，对于FPC弯折安装到PCB反面的情况，使用FPC插座与不弯折仅水平安装时使用的插座是一样的，都使用上接式插座，而对于FPC弯折式安装在PCB同面的情况，需要使用下接式插座。当然，对于弯折安装到PCB反面的情况，PCB上应该注意铣出过FPC片的槽，便于安装。

本制作中考虑到需要充分利用两面PCB面积焊接零件，所以采用的安装方式是FPC弯折式安装在PCB同面。在这种情况下，需要对FPC进行一定程度的弯折，在弯折时要特别注意保持一定的弯折弧度，建议严格按照规格说明书的要求进行弯折，最好弯折位置应呈自然弯曲状态。在同面安装时需要特别注意弯折问题，由于同面安装时没有PCB的边缘作为过渡，很容易出现把FPC折死、折断的情况，如果真的需要比较紧密的弯折，可先将FPC表面的茶色胶布撕开，轻轻弯折FPC到所需要的角度后再粘回胶布，这样FPC默认就保持一定程度的自然弯折状态，比较不容易折断（如需恢复原样，可撕开胶布，展平FPC后，重新粘回即可）。

◆ 改善OLED显示亮度的方法

从规格说明书的参数上来看，OLED的显示亮度还是比较高的，但是OLED屏幕点亮后，还是感觉亮度满足不了需要，下面介绍两种简单的方法来改善OLED显示亮度。

简单的增加OLED亮度的方法是提高VDDH驱动电压。根据OLED的特性，随着驱动电压的增加，其发光强度也会在一定范围内线性增加。使用这一方法需要特别注意的是，电压值不应超过OLED允许的上限，同时要注意到，提高驱动电压来提升屏幕显示亮度会造成OLED屏寿命缩短，如无必要，不推荐使用这种方法。

另外一种更简单的方法是撕掉OLED屏表面的滤光片。由于OLED屏是主动发光的器件，结构上不需要像LCD屏那样表面需要偏光片，实际上OLED屏幕表面贴的一层塑料片是滤光材料，用来将OLED的本色调整成接近黑色，将这层滤光片撕除后，会显露出金黄色的屏幕本色。通过实际试验，在无滤光片存在的情况下，OLED显示出的亮度会明显增加很多，几乎是成倍增加，而且去掉滤光膜后的屏幕，其厚度也会变得更薄。这一方法的缺点是，由于去掉了滤光片，在屏幕不显示的区域，也就是黑色区域展现的是屏幕的金黄底色，可能会影响到一些画面中黑色部分的表现。当然，如果应用产品本身就包含滤色片，或者屏幕显示较少黑色区域，那么这一方法是值得推荐的。

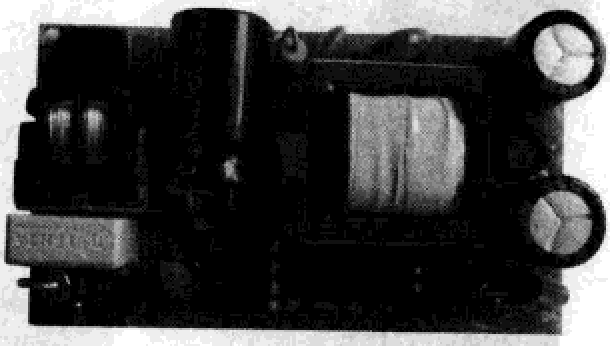
剥离滤光片的方法也很简单，先撕掉屏幕表面的保护膜，然后使用干净的、锋利的刀片（如美工刀片），以水平方向，从OLED屏的一个边角开始，小心推入几毫米，使边角的滤光片浮起，然后使用镊子夹住这一浮起的滤光片边角，慢慢用力撕除滤光片。在撕除过程中注意小心用力，应该沿各个方向逐渐施力，慢慢撕开。同时需要注意的是，视刀片切入位置，可能一次揭除的只是滤光片的一层，一次剥离不完全，可多进行几次，一般情况下第一次可以撕除滤光片的大部分厚度，剩余的厚度一般都很薄，直接使用镊子沿边角挑开撕除即可。撕除完滤光片后，将原保护贴膜贴回屏幕表面，起到保护作用。

通常情况下，只要是有滤光片的OLED屏幕，建议在业余制作中应当撕掉滤光片使用，此时的屏幕表现亮度绝对可以满足应用需求。

结语

通过本制作，笔者正式接触了OLED真彩色显示器件，实践了STM32单片机编程，收益良多。在整个制作过程中付出了很多努力，遇到了很多困难，当然，也收获了很多经验。希望通过此篇文章与大家分享电子制作的乐趣，共同进步与提高。

手把手教你做开关电源



◇任杰

为了从220V的交流市电中得到隔离的直流稳压电源，常用的方法有两种：一种是工频变压器加上整流、滤波、稳压等一系列电路，这也就是我们常说的线性电源，另一种就是开关电源。对于前者，尽管可以获得很小的纹波，但需要一个笨重的变压器，不论是成本还是体积都没有优势了，更为重要的是，线性稳压器的低效率往往让人难以接受。而开关电源的优、缺点正好和线性电源相反，体积小、重量轻、效率高，但是纹波相对较大。

对于简单的线性稳压电源，大多数爱好者DIY起来是没有多大难度的，而开关电源不太一样，因为使用的变压器是非标准的，制作的门槛大大提高。这里，笔者介绍一款5V/2A的反激式开关电源制作的全过程，电源的预期指标如下：

- ☑ 输入电压：85~265VAC
- ☑ 输入频率：50~60Hz
- ☑ 输出电压：5V
- ☑ 输出电流：≥2A
- ☑ 输出纹波：≤100mV
- ☑ 平均效率：≥70

由于反激式开关电源的定量化的理论比较复杂，本文将不涉及具体的分析和计算，只详细介绍制作和测试过程，方便读者能够重复这个制作。

电路原理简析

图1所示是本制作的电路原理图，

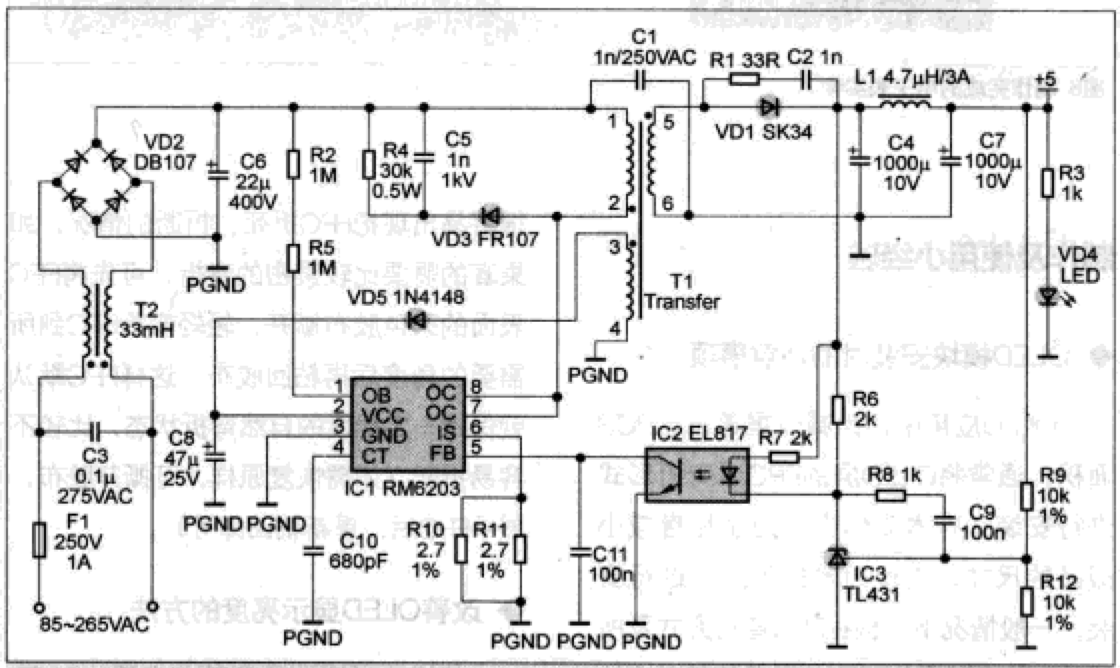


图1 5V/2A反激变换器电路原理图

用到的单片开关电源控制IC型号为RM6203。接下来我们看一下各个器件在电路中的作用。

首先是保险丝，它为整个电路增加了一道屏障，当电路出现短路过流时，它将是电路安全的最后一道防线。C3和T2构成共模滤波电路，C1和T1的漏感构成差模滤波器。如果仅仅做实验，不考虑EMI问题的话，C3、C1和T2可以省略。接下来交流市电通过整流桥VD2和滤波电容C6后，得到较为平坦的直流，对于220V输入，这个直流电压约为310V，并且会随着负载变化有一定的变化。

下面看一下IC1的外围电路。图1中R2和R5用来在启动之初给C8充电，充到一定值时，IC1开始工作，IC1工作所需的能量就从变压器的辅助供电绕组经过VD5整流后获得。C10用来设置IC1内部开关管的开关频率，按照图中的取值，开关工作频率约60kHz。R10和R11用来设置最大工作电流的保护阈值，电路是通过检测初级开关管电流来判断次级是否过载或者短路的。次级过载时，流过初级开关管的电流变大，R10（或者R11）上的压降变大，这个压降达到一定值（0.6V）时，电路停止工作。所以，调节R10和R11的阻值可以得到合适的过流保护阈值。

由于变压器的初级和次级之间并非理想的全耦合，也就是说变压器存在漏感，那么在开关关断时，漏感中的能量无法耦合到次级，这将导致初级出现反电势尖峰，这个尖峰很容易导致开关管瞬间

损坏。图1所示的R4、C5和VD3构成尖峰抑制电路，反电势尖峰通过VD3后被R4和C5吸收。

变压器次级的电路就比较好理解了，VD1和C4分别为输出二极管和输出电容，R1和C2用来保护二极管，C2的充放电为二极管提供恢复时间，在实验情况下，这一部分可以省略。为了减小纹波，增加了一级由L1和C7构成的LC滤波器。当纹波要求不高时这一级电路也可以去掉。

最后到了电压采样和反馈部分，这部分包括一个光耦和一个由TL431构成的电压监测器。我们假设电网电压升高，那么此时输出电压随之增大，TL431的REF端（由R9和R12分压得到的一半输出电压）电压也会增大，此时流入TL431阴极的电流将会增大，TL431上的压降减小，流过光耦内部发光二极管的电流增大，反馈到IC1后，IC1通过减小内部开关管的导通时间（占空比）来降低输出电压。其中，R8和C9为TL431的补偿电路，实验时可以省略。同样，当负载等其他因素引起输出电压升高或降低时，反馈电路将通过上述过程来维持输出电压稳定。

器件选型分析

尽管整个电路用到的元器件不多，但是涉及的元器件类型是比较繁杂的。出于安全考虑，这部分将重点讨论。

表1列出了电路中用到的器件清单，首先我们看一下电阻的选用。表中一共列出了3种电阻：对精度和功耗都没有很高的要求的，选用0805封装、5%精度的电阻，对精度要求较高而功耗较小的，选用了0805封装、1%精度的电阻，如表1中用于设置输出电压的R9和R12。另外，R4用到一个0.5W功率的电阻是考虑到尖峰吸收电路的损耗，而这个电阻对精度没有要求，所以使用了一个误差10%的碳膜电阻。另外，需要特别注意的是，R2和R5两个电阻串联，是考虑到单个电阻的耐压问题，这里绝对不能换成一个2MΩ的电阻，如果空间允许，推荐使用3个680kΩ的电阻串联。

相对于电阻而言，这里用到的电容种类更多，对于我们常用的贴片陶瓷电容和电解电容，只要注意容量和耐压，大多数读者都明白如何选取，这里不作详细讨论了，下面重点看一下C1、C3和C5。

C1、C3叫做安规电容，因为它们符合安全规范，在任何情况下都不会出现短路失效的情况，这在开关电源中是必须得到保证的。其中，C1为安规Y电容，它并联在初级的电源和次级的地之间，容量很小（一般为几百皮法到一纳法），并且标注的耐压是250VAC，而不是直流。这个电容的外形和高压陶瓷电容（C5）极为相似，但是同等容量的安规Y电容一般比高压陶瓷电容体积要大，引脚间距也大，购买的时候千万不能买错。C3是安规X电容，这种电容一般为黄色，标注是275V（注意，和前面的C1一样，耐压都是AC）的耐压。上文中讲到C1和C3不是必须的，所以如果读者在制作时没有这两种电容，可以省略，但绝对不可以用其他形式的电容代替。

VD2用于工频交流市电的整流，对工作频率没有要求，但是要求有足够的耐压和电流，这里选用1A/600V以上的桥堆或者二极管。VD1是输出整流二极管，为了满足低压降、高频的要求，肖特基二极管是最好的选择，这个电路中，要求VD2反向耐压高于30V，电流最好在3A以上。图1中选取的SK34（或SS34）是3A/40V的肖特基二极管。VD5整流后用于为IC1供电，通过的电流很小，但是频率较高，使用1N4148之类的小信号开关二极管就比较合适。VD3处理的也是高频开关信号，并且需要承受较高的反向电压，这里应该使用高耐压的快速恢复二极管，如FR107（1A/1000V）。

最后讨论一下光耦元件和电感元件。这里用到的光耦应该是线性光耦，和图1中EL817可以互换的有PC817、ISP817等，常用的TLP521不是线性光耦，在这里不适合。电感元件包括共模滤波电感、输出滤波电感和变压器。其中共模滤波电感和输出滤波电感很容易买到成品件，而变压器需要自制，后面部分将详细介绍变压器的制作方法。

表1 器件清单

元器件标号	元器件名称	元器件型号	元器件封装
R1	贴片电阻	33Ω/5%	0805
R2, R5		1MΩ/5%	
R3, R6, R7, R8		1kΩ/5%	
R9, R12		10kΩ/1%	
R10, R11		2.7Ω/1%	
R4	直插电阻	30kΩ/0.5W/10%	标准直插
C1	安规Y电容	1nF/250VAC	直插陶瓷封装
C2	贴片陶瓷电容	1nF/100V（X7R）	0805
C3	安规X电容	0.1μF/275VAC	直插塑料封装
C4, C7	电解电容	1000μF/10V	φ8mm直插
C5	高压陶瓷电容	1nF/1kV	直插陶瓷电容
C6	电解电容	22μF/400V	φ12mm直插
C8		47μF/25V	φ6.5mm直插
C9, C11	贴片陶瓷电容	0.1μF/50V（Y5V）	0805
C10		680pF/100（NPO）	
F1	保险丝	250V/1A	
T2	共模滤波电感	33mH	直插陶瓷封装
VD2	整流桥堆	DB107	
VD1	肖特基二极管	SK34	SMA
VD3	快恢复二极管	FR107	DO-41
VD4	发光二极管	绿色	φ3mm直插
VD5	开关二极管	1N4148WS	SOD-323
L1	棒状电感	4.7μH/3A	φ8mm直插
IC1	开关电源IC	RM6203	DIP-8
IC2	光耦	EL817	DIP-4
IC3	可调电压基准	TL431	TO-92
T1	变压器	EE20磁芯，骨架	卧式8脚封装

变压器制作详解

变压器的制作是决定制作成败最为关键的一步，整个过程必须严谨细致，避免出错。首先给出本次制作的变压器各项参数：

☑ 磁芯尺寸：EE20

☑ 初级绕组线圈匝数：120T

☑ 次级绕组线圈匝数：8T

☑ 反馈绕组线圈匝数：12T

☑ 初级电感量：3.8mH

同样指标的电源，由于计算过程中参数（特别是纹波系数）选取的不同，得到的变压器各项参数也会有区别，但是功率确定后，差别不大。确定参数后，首先对照原理图和PCB可以得出EE20骨架的引脚分布，如图2所示（EE20骨架可能有不同的引脚数和分布）。

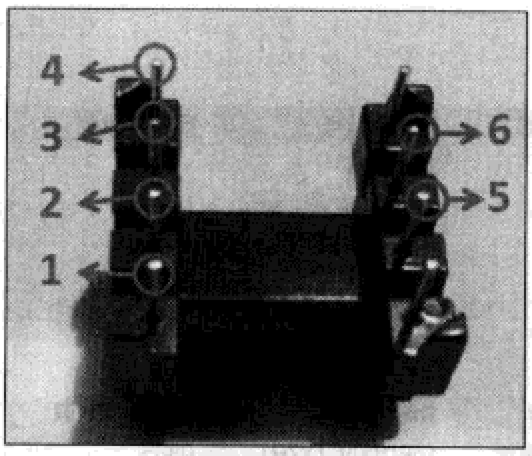
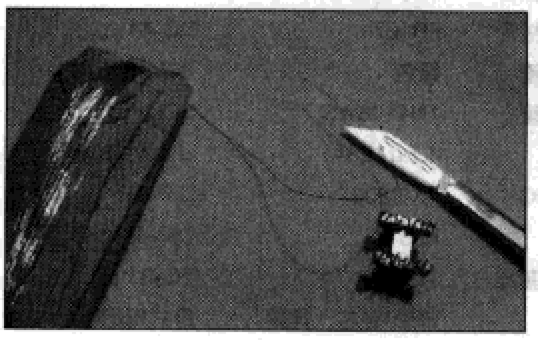


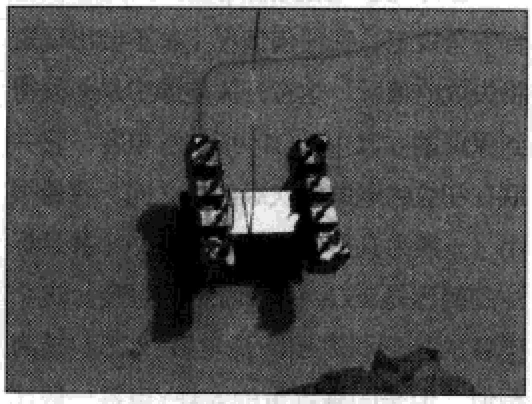
图2 骨架引脚排列示意图

接下来开始介绍详细的绕制过程。

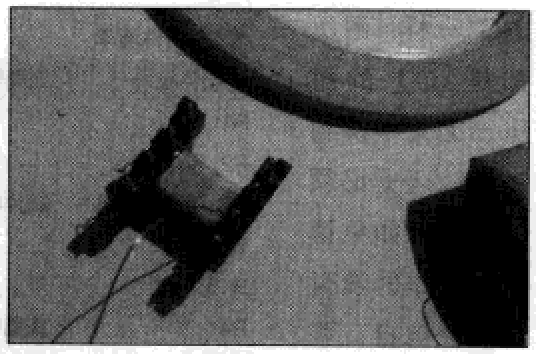
01 取足够长的直径0.28mm左右的漆包线（太细可能不满足电流要求，太粗可能绕不下，建议直径在0.2~ 0.3mm），用小刀刮去线头处5mm左右的漆层。



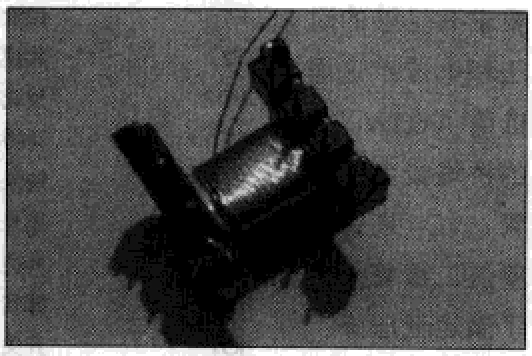
02 将刮去漆层的线头缠绕在骨架的第一脚，开始沿着一个方向绕线，这个方向可以任意选取，但是一定要始终保持这个方向不变。绕制过程中，尽可能使线圈贴紧骨架，并使匝间尽量紧密，但是不要出现层次上的交叠，这几点在整个绕制过程中都要注意。



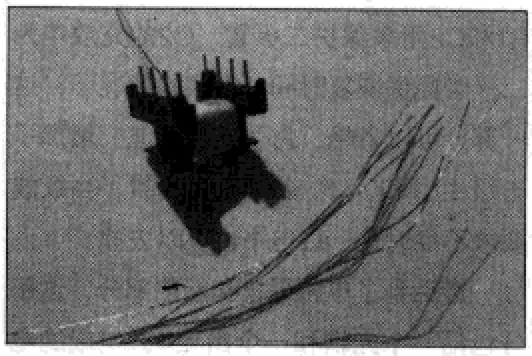
03 一层线圈绕制完成后（对于0.28mm直径的漆包线，约35T），紧贴线圈平整地缠绕一层绝缘胶带。



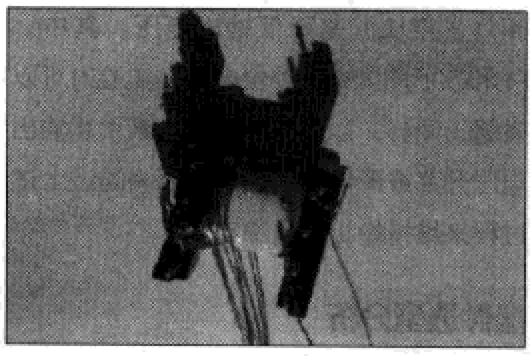
04 继续沿同一方向绕完第二层线圈，注意第二层线圈不要绕满，留出3匝左右的边沿空置。这是因为第二层线圈的末端和第一层线圈的起始端之间要承受较高的电压。此时，初级大约已绕完67T，剩下53T。



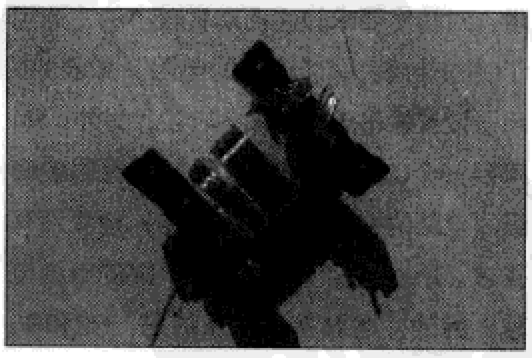
05 绕完第二层初级线圈后，缠绕3层绝缘胶带，将初级线头暂时放置到一边，取6根直径0.28mm、长度40cm左右的漆包线，刮去线头5mm左右的漆层，准备绕次级。



06 将刮去漆层的6个线头缠绕在骨架的第六脚（脚位千万不能弄错），然后沿初级绕组的相同方向开始绕制。注意，一层的起始和结束位置不要贴紧骨架边沿，和次级线头保持一定距离。绕制过程应保持6根导线尽可能地贴近。

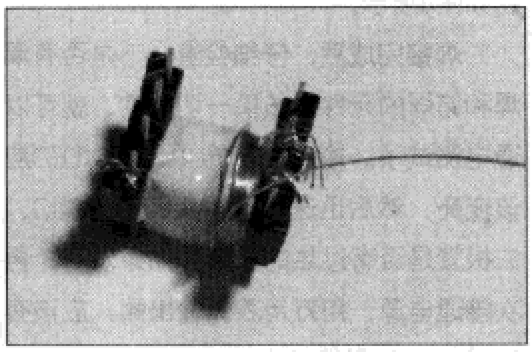


07 绕制一层后，继续沿同一方向绕制第二层，中间是否加绝缘胶带关系不大。线圈分为两层，每层6线并绕4T（相当于每层单线绕24T），完成后留出1cm左右线头，刮去漆层后缠绕在骨架的第五脚，次级绕制完成。

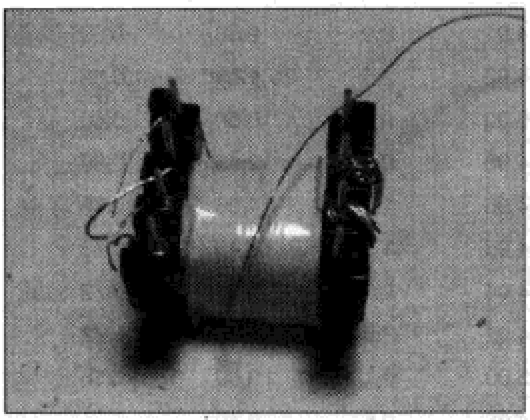


08 紧贴次级绕组缠绕3层胶带，并沿同一方向继续绕制第三层初级绕组，绕制时同样在骨架边沿处空出3T，保证安全距离。

09 第三层初级绕组绕制完成后，大约已完成96T（第三层绕制35T-6T=29T，6为留出的边沿距离），紧贴线圈缠绕一层胶带，继续沿同一方向进行第四层初级绕组的绕制。

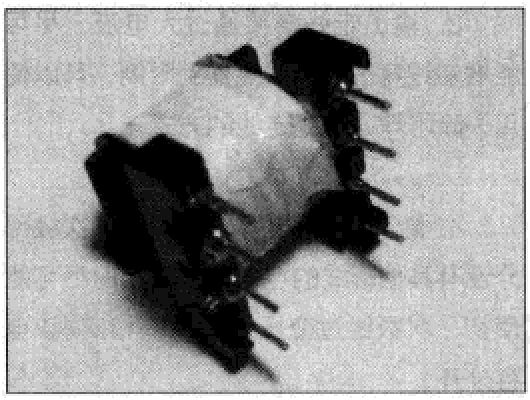


10 绕到总计120T时，初级绕制完成，紧贴线圈缠绕3层绝缘胶带，取直径0.15mm的漆包线（辅助供电绕阻通过电流较小，允许使用较细的线径，但是如果空间允许，也可以取较粗的线径），线头除去漆层后缠绕在骨架第四脚，开始绕制辅助供电绕组。



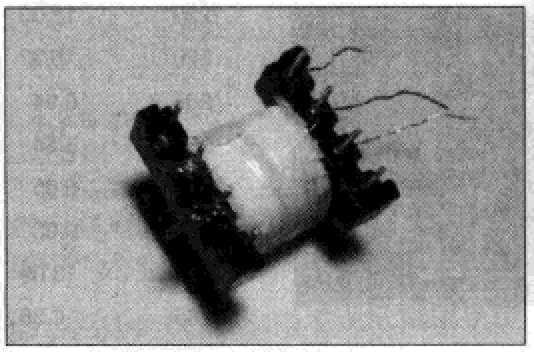
11 绕制过程的方向依然不变，绕满12T后，留出1cm左右线头，除去漆层后缠绕在骨架第三脚，最后紧贴线圈缠绕3层胶带。至此，变压器的绕制工作完成。

12 为了保险起见，我们要验证一下绕制过程有没有出错，首先用烙铁将各缠绕在骨架引脚上的导线焊好，并剪掉多余线头。



13 测量初级线组，将磁芯嵌入骨架，并用手指捏紧，使用电桥或者电感表测量初级绕组（第一、二引脚）电感量，并记录下来。

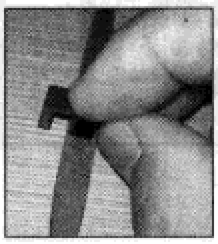
14 将第二、三引脚短接后，按照同样方法测第一和第四引脚间的电感量，并记录下来。



15 将第二、五引脚短接后，按照同样方法测第一和第六引脚间的电感量，并记录下来。如果后面两次测得的电感量都比第一次测得的电感量小，那么恭喜，绕制过程中的同名端和异名端没有弄错，否则，就只有拆开重绕或者颠倒引脚次序了。

刚刚的测试数据中，我们看到，初级的电感量高达十几毫亨，而我们给出的指标是3.8mH，其中差距甚大，原因在于我们还有下面极为重要的一步工作没做，那就是磨气隙或者垫气隙。

16 准备好一把锉刀，取出EE磁芯其中的任意一片，然后如下左图那个样子磨就可以了。磨掉的越多，电感量就会越小。注意，磨的时候，只磨中间柱，采用边磨边测的方式，最后磨到测得的初级电感量接近3.8mH就可以了。不需要追求下右图所示那么精确的数据，这个电感量的误差在±0.5mH内都不至于影响实验的成败。当然，我们不推荐磨得太少或者磨过了头。



17 最后用胶带围绕磁芯外框缠绕3到4周，使磁芯尽可能贴紧，再下图所示测一下初级电感量，一个完整的变压器就算是OK了。

在没有锉刀等工具的情况下也可以采用垫气隙的方式，此时需要寻找合适厚度的纸片、塑料片等薄片，垫到磁芯的中间柱和边柱之间（3个柱间的气隙厚度相同），最后保证初级电感量接近3.8mH就可以了。缺点是由于纸片等材料容易发生形变，导致变压器参数不稳定，并且，这种方式的漏磁通比较大。

PCB的设计

电路的PCB设计需要注意以下几点：

1. 高压部分需要保持足够的线间距。作为DIY试验品，可以不用严格考虑安全规范，但是对于两条线之间压差较大，应该尽可能保持宽的线间距，对于初级部分，常用的大面积覆铜是绝对不允许的。

2. 变压器初级和次级的两个开关节点（变压器2脚和5脚），连线应尽可能粗短，避免过细和迂回的走线。

3. 输出走线需要通过大电流，尽可能增加线宽，如果线宽受到限制，可以使用去除阻焊，加锡走线的方式。

4. 除了安规Y电容外，初级和次级部分没有其他形式的电连接，布局时尽可能使初，次级经过变压器、光耦和安规Y电容分开。

5. 变压器和IC为主要发热器件，在PCB上可以放置一些机械孔，增强散热。

图3所示是笔者设计的PCB图，电路较简单，使用单层PCB和几根跳线就能满足设计需求。在此特别纠正，笔者设计时将TL431的阴极和REF端脚位弄反了，所以PCB图上那个TO-92封装的器件应该镜像一下，抱歉！

焊接与测试

整个电路的焊接没有难点，但一定要注意电解电容和二极管的极性，其中任何一个器件极性焊反，都可能造成电路的故障甚至安全事故。笔者完成的实物如图4所示。

焊接完成后，仔细检查一下是否有漏焊和错焊的元件，如果一切正常，就可以通电测试了。输入220V市电，此时LED应该变亮，然后迅速拔下插头，用手摸IC、二极管是否有过热的现象。如果没有，再次接通电源，用万用表测输出端，应该有5V输出，如果器件完全按照表1的参数选

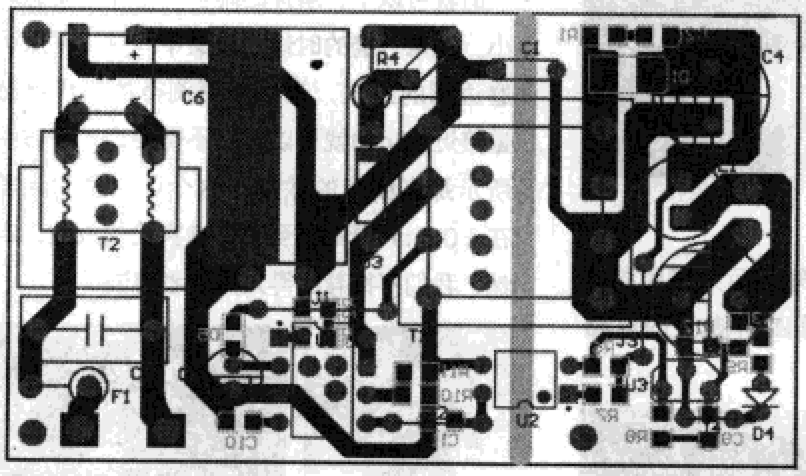


图3 PCB布线图

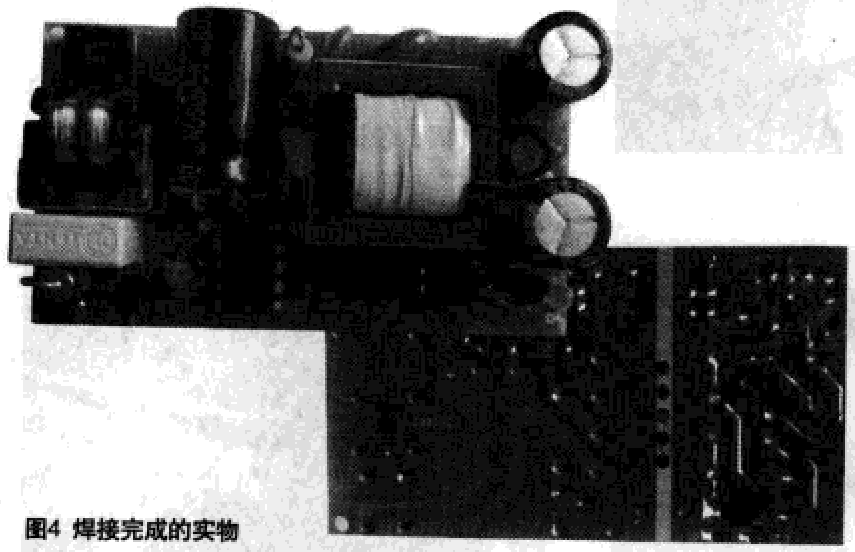


图4 焊接完成的实物

表2 负载和效率特性测量数据

输入电压/V	输入功率/W	输出电压/V	输出电流/A	输出功率/W	效率
85	0.86	5.00	0.1	0.50	0.58
85	3.70	4.98	0.5	2.49	0.67
85	7.09	4.97	1.0	4.97	0.70
85	10.50	4.95	1.5	7.43	0.70
85	14.23	4.94	2.0	9.88	0.69
85	18.22	4.92	2.5	12.30	0.68
110	0.83	5.00	0.1	0.50	0.60
110	3.60	4.98	0.5	2.49	0.69
110	6.87	4.96	1.0	4.96	0.72
110	10.14	4.95	1.5	7.43	0.73
110	13.54	4.94	2.0	9.88	0.72
110	17.09	4.92	2.5	12.30	0.72
220	0.86	5.00	0.1	0.50	0.58
220	3.49	4.98	0.5	2.49	0.71
220	6.71	4.97	1.0	4.97	0.74
220	9.86	4.95	1.5	7.43	0.75
220	13.03	4.94	2.0	9.88	0.76
220	16.32	4.92	2.5	12.30	0.75
265	0.94	4.99	0.1	0.50	0.53
265	3.54	4.98	0.5	2.49	0.70
265	6.65	4.96	1.0	4.96	0.75
265	9.93	4.95	1.5	7.43	0.75
265	13.09	4.94	2.0	9.88	0.75
265	16.36	4.92	2.5	12.30	0.75

取，不需要做任何调整。至此，这个电源已经可以正常工作了。

接下来，我们对电源的带负载能力、效率、纹波以及过流保护功能进行测试。其中前两项可以同时获得，使用的仪器包括一个自耦变压器（用于调节输入交流电压）、电子负载（用于设定负载电流）和万用表（用于准确测量输出端电压）。尽管一般的电子负载具备电压显示功能，但是测出的电压是经过连线后连接在负载端的电压，由于连线电阻和接触电阻的损耗，测得的电压较电压输出端的电压要低，特别是大电流情况下，测量偏差会比较大，所以这里使用一个万用表单独测量输出电压。图5给出了测试实拍图。

本次测试分别在85VAC（输入下限电压）、110VAC、220VAC输入以及265VAC（输入上限电压）进行，最后得到了表2所示的数据。根据表中数据，图6和图7分别绘出了负载特性曲线和效率特性曲线。

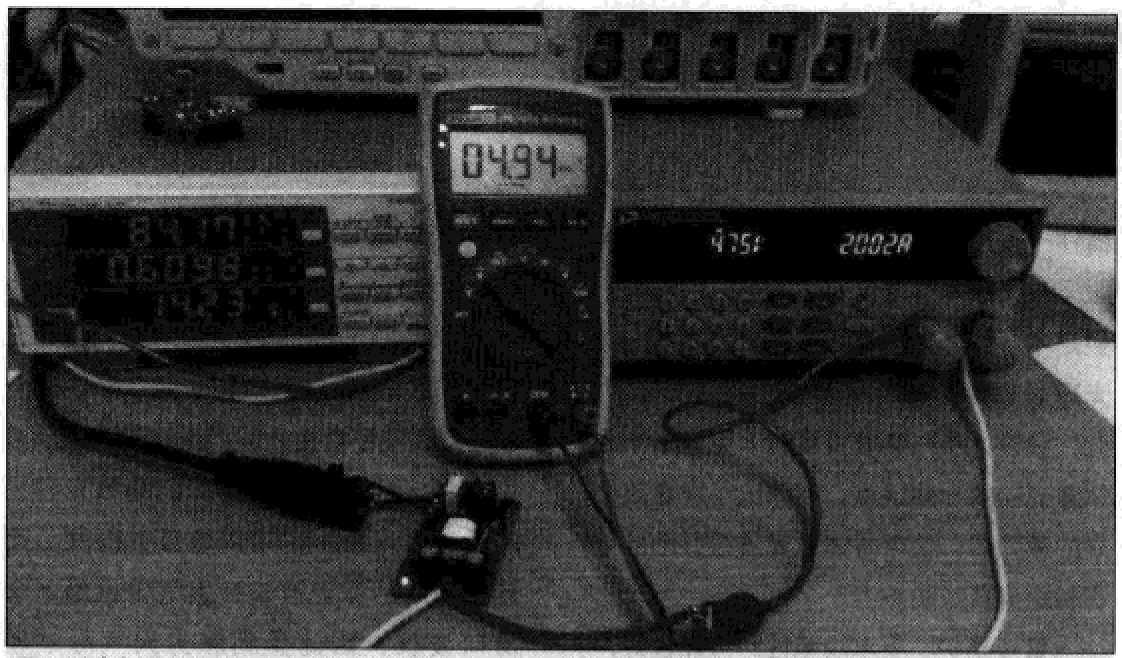


图5 测试实拍图

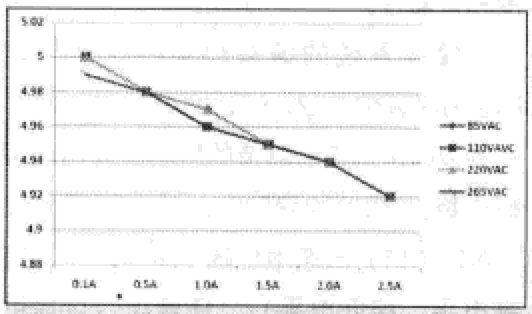


图6 负载特性曲线

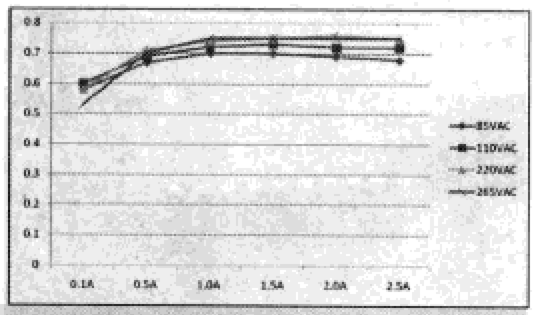


图7 效率特性曲线

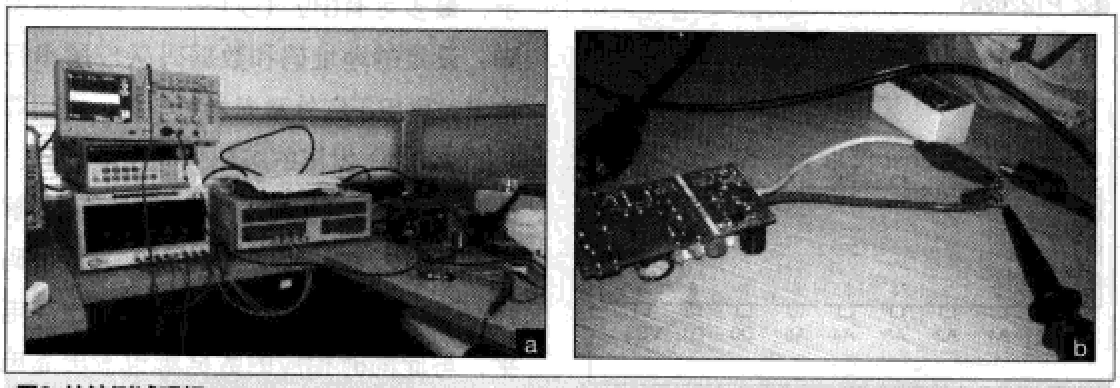


图8 纹波测试现场

表3 过流保护测量数据

电源电压/V	过流保护阈值/A
85	2.7
110	2.9
220	3.3
265	3.4

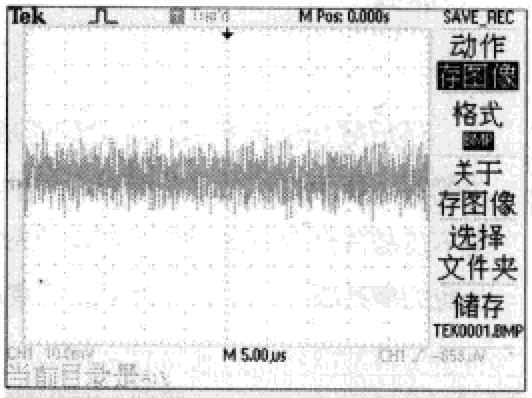


图9 纹波波形图

在测试效率和负载特性的同时，可以通过加大负载电流来测试电源的过载保护和短路保护能否正常工作。按照图中的参数（R10和R11取2.7Ω），不同输入电压下，电路进入过流保护时大概的负载电流值分别如表3所示。对于输入电压波动不大的场合，可以增大或减小R10和R11的值，以获得要求的过流保护阈值。具体做法是：输入电压越高（不超过265V AC），阻值应取得越大，输入电压越低（不低于85V AC），阻值应取得越小。

最后笔者测试了一下电源的纹波，这里参考了PI公司推荐的方法，使用100M数字示波器，探头处并联一个100nF的陶瓷电容和一个10μF左右的电解电容，使用交流耦合的方式，如图8所示，测得的纹波波形如图9所示，纹波峰峰值小于40mV。

小结：文章中介绍的开关电源，也是笔者设计和制作的第一个开关电源，整个过程应该算是比较顺利的。最后完成的作品在效率、纹波和带负载能力方面性能还算不错，笔者将继续进行反激式开关电源的DIY，争取能够做出更好的作品和读者分享。

红外激光“超级无敌掌门狗”

◇陈强

还记得1999年那部风靡全球的电影《偷天陷阱》吗？它不仅让我们对年近70岁但身手却依旧矫健的007肖恩·康纳利大为赞叹，更为在红外激光警戒系统中尽展曼妙身姿的凯瑟琳·泽塔琼斯痴迷不已。但在现实生活中，严密的红外激光警戒系统不仅挡得住性感的美女，甚至身形更加小巧的野兽也难以逾越。本文笔者就为大家带来了他设计的一套红外激光模组，让我们擦亮眼睛，看看这套系统究竟是如何为我们“看家护院”的吧。“超级无敌掌门狗”来喽！

20世纪60年代随着第一台红宝石激光器的问世，激光应用技术应运而生。从理论上讲，TM00模式的激光器可以发出一束稳定可见光束，光束能量为高斯分布，能量中心为一条极为理想的直线。该光束具有高亮度、方向性好、能量集中等优点。然而庞大的体积和高昂的造价使其不便应用于工农业生产。

随着半导体激光器的出现，这一新型器件一改过去激光器的笨重、脆弱，并克服了激光器本身温度变化所造成的影响。但是半导体激光器也存在光斑发散角大、光斑呈椭圆分布、能量离散等不足。为此，我设计了一套准直系统，克服了半导体激光器的一些缺点，制作出了准直效果好的激光器，使半导体激光器很好地应用在长距离警戒防护上。

警戒防护，要求隐蔽性、可靠性好，警戒距离长、受恶劣天气影响小（雨雪天除外），因此我选用了北京中科院半导体所生产的980nm、功率为50mW的激光二极管，如图1所示。这种激光二极管在全黑暗条件下不会使人眼产生红曝现象（常见808nm的激光二极管发出的激光容易产生红曝现象），所以隐蔽性很好。而且980nm的激光波长在大气中也是一个窗口波长，因此受到恶劣天气影响较小，传输距离长。这样就提高了设防范围和可靠性。

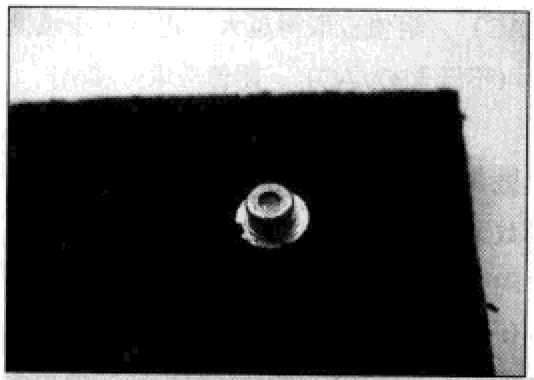


图1 本次制作采用的激光二极管

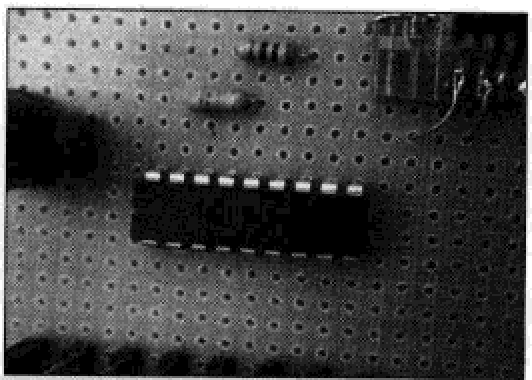


图2 PT2262IR

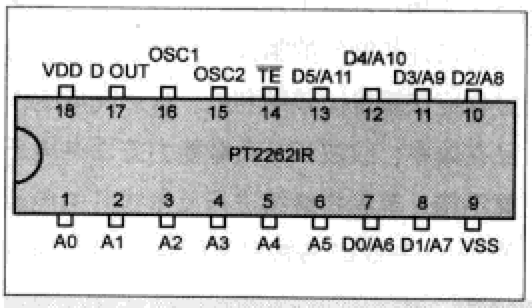


图3 PT2262IR外形引脚图

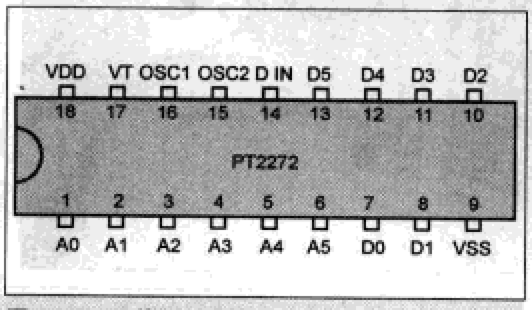


图4 PT2272外形引脚图

警戒系统的编解码电路采用的是PT2262IR/PT2272。PT2262IR/PT2272 是一种以CMOS工艺制造的低功耗通用编解码电路，PT2262/PT2272 最多可有12位（A0～A11）三态地址端引脚（悬空、接高电平、接低电平），任意组合可提供531441个地址码。PT2262IR，如图2所示，最多可有6位（D0～D5）数据端引脚，设定的地址码和数据码从17脚串行输出，可用于红外激光发射电路。编码芯片PT2262IR 发出的编码信号由地址码、数据码、同步码组成一个完整的码字，解码芯片PT2272 接收到信号后，其地址码经过两次比较核对后，VT 脚才输出高电平，与此同时相应的数据脚也输出高电平，如果发送端一直接通电源，编码芯

片也会连续发射。当发射机的PT2262IR不接通电源时，其17 脚为低电平，红外激光发射电路不工作，接通电源时，PT2262IR得电工作，其第17 脚输出经调制的串行数据信号，从而对激光发射电路完成幅度键控（ASK 调制），相当于调制度为100%的调幅。PT2262IR是红外发射编码电路，PT2272是解码电路。这样对地址码进行设置，可以做到多路警戒系统相互不受干扰。

在通常使用中，PT2262IR/2272芯片的地址编码设定和修改，我一般采用8位地址码和4位数据码，这时编码电路PT2262IR和解码电路PT2272的第1～8脚为地址设定脚，如图3和图4所示，有三种状态可供选择：悬空、接正电源、接地。3的8次方为6561，所以地址编码不重复度为6561组，只有发射端PT2262IR和接收端PT2272的地址编码完全相同，才能配对使用。

我做的电路都是悬空的，也就是PT2262IR和PT2272的8位地址编码端全部悬空，这样可以很方便地选择各种编码状态。如果想改变地址编码，只要将PT2262IR和PT2272的1～8脚设置相同即可，例如将发射机的PT2262IR的第1脚接地，第5脚接正电源，其他引脚悬空，那么接收机的PT2272只要第1脚接地，第5脚接正电源，其他引脚悬空就能实现配对接收。当两者地址编码完全一致时，接收机对应的D1～D4端输出约4V互锁高电平控制信号，同时VT端也输出解码有效高电平信号。用户可将这些信号加一级放大，便可驱动继电器、功率三极管等进行负载遥控开关操纵。发射编码电路如图5所示，实物电路板如图6所示，接收解码电路如图7所示，实物电路板如图8所示。

警戒系统的激光二极管驱动电路采用的是DD311。激光二极管的驱动比较特别，要求恒流驱动，恒流驱动精度高，避免反向电流灌注以及尖峰脉冲，这些都会造成激光二极管的损坏或者性能下降，光功率输出降低。因此要重视对激光二极管的驱动，不能按照发光二极管的驱动方式进行。所以我选择了DD311精密恒流驱动电路。

DD311是台湾点晶科技公司生产的一款单通道输出的恒流驱动器，内建电流镜与电流开关组件，是专为大电流恒流而设计的。DD311可驱动高达1A的电流，并可调整第1脚上的参考输入电流来任意设定输出电流的大小，输出电流值约为100倍的输入电流，并可调整RP1来调整流过VD1的电流。当第5脚为高电平时，输出电流，低电平，则关闭。第5脚最高输入频率可以达到1MHz。PT2262IR的17脚输出38 kHz的信号，通过R1进入DD311的控制脚5，这样在第2脚就输出相应频率的驱动电流，驱动VD1发出激光脉冲来。VD2是防止反向电流进入VD1，保护VD1不受损，C2是消除尖峰脉冲对VD1造成伤害，C3和C4是电源滤波，消除来自电源的干扰。DD311在第5脚为低电平时整个电路截止。DD311的封装为TO-252。

图9所示为激光二极管驱动电路。

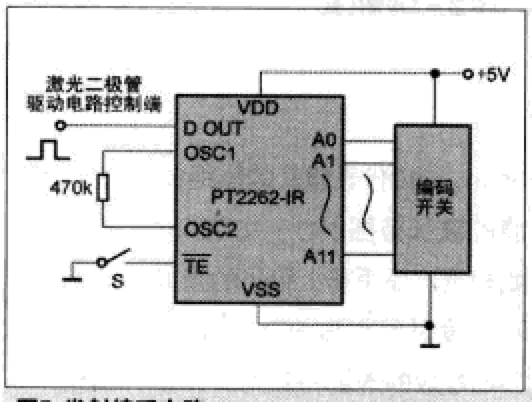


图5 发射编码电路

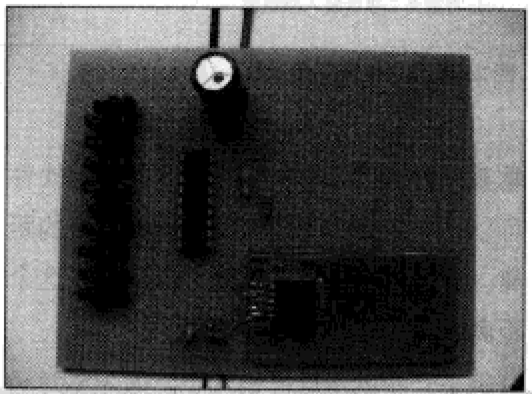


图6 发射电路板

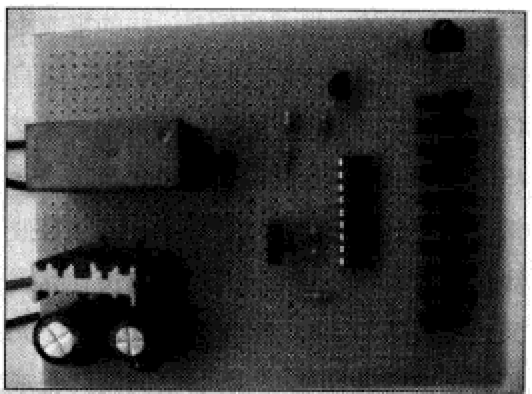


图8 接收解码电路板

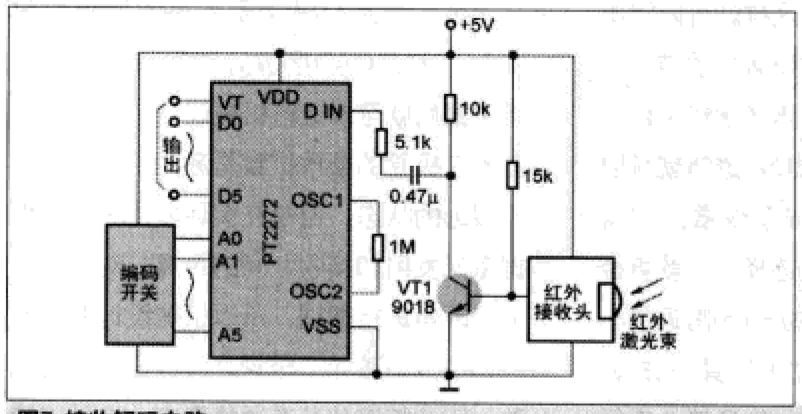


图7 接收解码电路

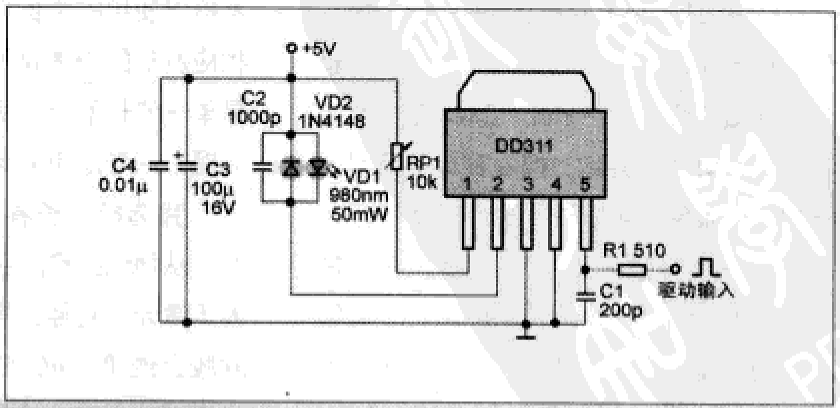


图9 激光二极管驱动电路

电路调整

首先将DD311的5脚通过一个1kΩ的电阻接到电源正极，也就是5V上，将VD1用两只串联的1N4004代替，并且串入电流表。把RP1调整到最大值，然后减小RP1的阻值，当电流达到100～110mA时，固定RP1，并且用油漆封住RP1。这时，将1kΩ的电阻去掉，并且将VD1接入电路中。注意接入VD1模组的过程要加强静电防护，模组里的VD1非常怕静电。我从北京购买的激光二极管的额定工作电流为130mA，但是在实际应用时一般都不主张在最大额定电流下工作，主要是为了延长工作寿命和提高可靠性。

实际上这套激光警戒系统制作难点不在电路，而是在光学和机械。下面着重说一下光学机械设计以及系统调整（已经超出无线电涉及范畴了，但是光、机、电一体设计，往往可以带来意想不到的收获）。

1. 激光发射部分的设计制作

首先选择元件，激光二极管选择5.6mm封装的，根据我们要设防的警戒距离，来选择发射器发出来的激光光束直径。一般距离越远，发射器的激光光束越粗，这样来缩小远端激光光斑的直径。通常受到大气漂移和抖动的影响，设防警戒线的长度要小于500m。距离再长就会因为大气抖动和漂移，使激光光斑超出激光接收器的接收范围 。所以我们设计警戒线的长度一般在1~500m的范围，这样发射激光光束出口直径为5~8mm就够了。在500m处的光斑直径能达到60~80mm，作为接收窗口，已经足够，而且大气引起的漂移量不会超过20mm。这样在任何情况下，光斑也不会跑出接收窗口的范围。根据上述条件就可以进行器件选择了。

首先选择激光二极管，我选择的是北京中科院半导体所生产的激光二极管LDM-980-050m，如图1所示，从产品手册上可以查到，其水平发散角为25°，

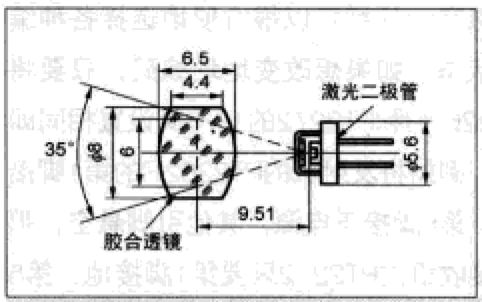


图10 透镜和激光二极管的摆放示意图

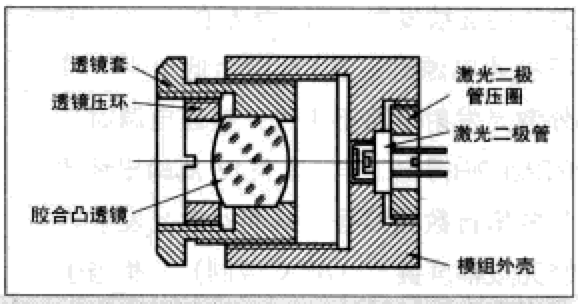
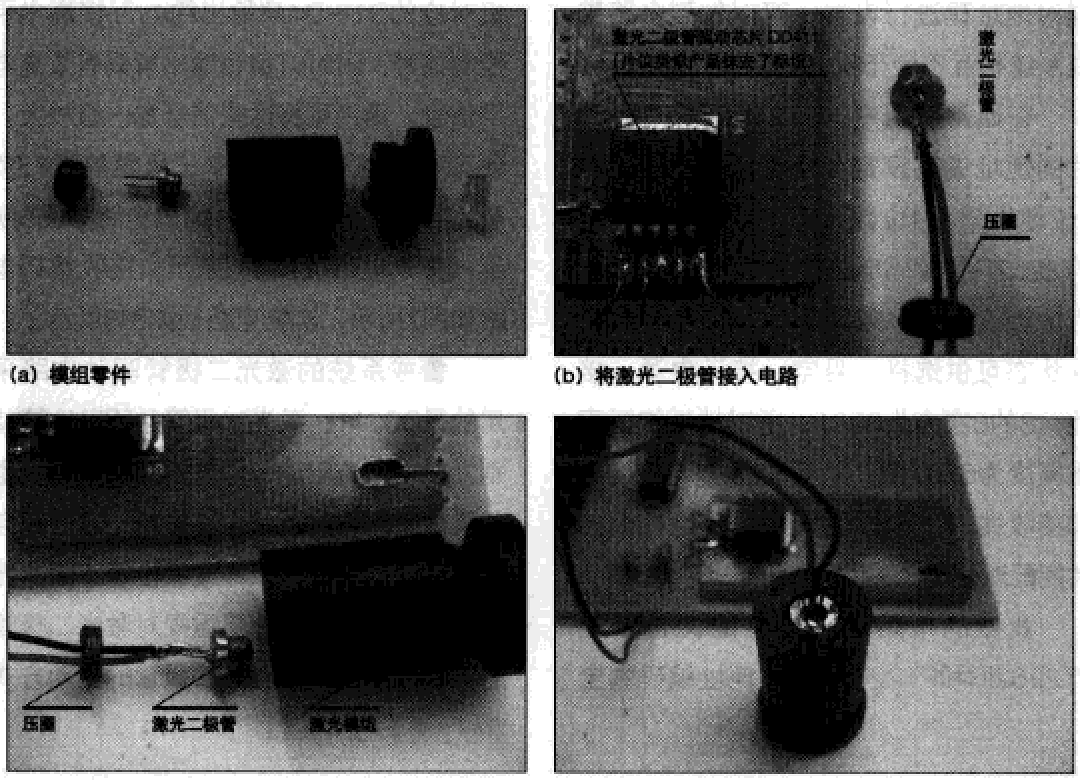


图11 机械结构示意图



(a) 模组零件
(b) 将激光二极管接入电路
(c) 将激光二极管装入模组里
(d) 压紧激光二极管压圈

图12 激光二极管安装过程

垂直发散角为35°，利用CAD制图软件可以很方便地找出管芯到6mm线长的距离。通过画图计算，距离为9.5mm，这个距离就等于准直透镜的焦距了。

下一步就是选择镜片了。因为激光二极管的波长为980nm，可以按照可见光的光学器件来选择。就是在增透镀膜时给厂家提出使用的波长范围，这样就可以镀出相应波长的增透膜了。按照激光的特点，是单一波长的光，所以不用考虑镜片色差问题，只考虑用消球差的胶合透镜就可以了，我选择了长春金龙光学仪器厂的镜片。从他们的产品目录上选择了一款直径大于激光束直径、焦距在9.5mm附近的一款胶合透镜18AC080-010-B，其中18AC代表消球差胶合透镜，080代表镜片直径8mm，010代表镜片的焦距10mm，B是镀膜的波长范围650～1050nm。接下来开始根据产品手册上给出的直径、边厚、中心厚度进行机械设计。图10所示是经过CAD摆放的透镜和激光二极管示意图。

18AC080-010-B透镜直径8mm，中心厚度6.5mm，边缘厚度4.4mm，焦距10mm，激光二极管激光束的发散角为35°，利用CAD摆放好透镜和激光二极管位置后就可以进行机械设计了。透镜和激光二极管的摆放位置是激光束平行度为无限远的状态。但是在实际使用时，要根据激光发射和接收之间的距离，对激光束的发散角进行微调，所以机械设计时，要能让镜片与激光二极管之间的距离进行调整。因此把镜片装在透镜套中，旋转透镜

套，就可以进行距离调整了。根据上述要求，设计出了如图11所示的机械结构。激光二极管的安装过程如图12所示。

带剖面线的机械零件可以使用铝合金、黄铜之类的金属材料车削加工，加工的时候注意各个零件的配合精度，以及同心度。接收部分就要用红外接收头作一个遮光圆筒，防止杂散光直接照射接收头。一般设防距离在500m以内，接收部分不用做专门的光束聚焦光学系统。直接使用红外线接收头就可以很好地接收了。激光发射模组做好后，外面要套上绝缘材料的套筒。方向调整座，使用小型摄像头的手动云台，将激光器安装在云台上，可以比较方便地调整激光束，准确地投射到接收端。

2. 机械装配和激光束调整

激光发射部分的机械安装需要一定的耐心。激光二极管和透镜都属于精密光学元件，在装配时要注意环境的洁净度，带干净的手套装配，防止静电，装配前要将各个机械零件清洗干净，图13所示的镜片要确保清洁。透镜装配，要注意正反面，比较凸的一面向外，稍微平的一面朝向激光二极管，装反了不能形成平行光束。所以在装配时特别注意凸透镜的方向。

下面开始进行激光光束的调整。在正常情况下，一般将光束调整到无限平行状态。但是980nm的激光，人眼无法看到，所以要借助摄像头来观察。但是一般的摄像头也不容易看到980nm的激光束，因此要对摄像头进行改造，摄像头改造其实很简单，就是把CCD前面的红外截止滤光片拿掉就可以了。红外截止滤光片，就是CCD前面一片淡绿色的玻璃片，拆除后用摄像头对着电视机的红外遥控器观察一下，要是能明显看到遥控器前面的红外LED闪烁，证明摄像头对红外线非常敏感。

在天黑的时候找一块长度为100m的场地，在100m的地方放置一块白板，并用摄像头从侧面为白板正面拍摄。将摄像头信号传回发射端，并在激光发射端接收视频信号，使用显示器显示出来。在发射端放置一套能够水平和俯仰调整的夹具，将安装好的激光模组夹在夹具上，激光二极管接到驱动电路上，在DD311的第5脚上接一个1kΩ的电阻，并接到电源正极上，让激光二极管发射激光，将制作好的激光模组透镜套旋至中间位置，然后水平和俯仰调整夹具，这时可以比较方便地找到激光光斑。找到光斑后，仔细旋转透镜套，观察光斑，光斑最小时，用指甲油滴在透镜套的螺纹上，让透镜套固定。撤除DD311第5脚上的上拉电阻。发射、接收一一对应设置好的编码、解码开关，这样激光模组就可以投入使用了。

在系统安装时也应使用可以观察红外线的摄像头。将接收头安装好后，在接收头的前面放置一块白板，在白板上标记出红外接收头的位置，在接收头的位置上标出十字线。用摄像头从侧面拍摄白板，把信号传回发射端，让调整发射端的人员观察到图像。调整云台，让光斑照射到十字线的中心点上，固定云台，拿掉白板，让激光束投射到红外接收头上，让接收部分的控制部分动作，进入设防状态。

设防方式

设防方式多种多样，比如有一个大门，就可以使用一对发射和接收来进行设防，在大门两旁分别放置发射装置和接收装置，当有物体经过时遮挡激光束，从而触动报警系统。总长度小于500m都可以实施，图14所示就是单线设防示意图。

方形场地，可以采用4对或者2对装置来进行设防，4对就是方形场地每个边上放置1对装置。这样的好处是能详细知道哪条警戒线出了问题。2对警戒，采用1个平面镜让激光束转弯，同时警戒两条边。同样也可使用1对警戒，采用3块平面镜让激光束围绕方形面转一圈，进行警戒。这样的优点是设备少、成本低，但是不知道哪个方向出现问题。用这种方式来警戒设防，要本着一个原则，就是激光束的总长度不能大于500m。

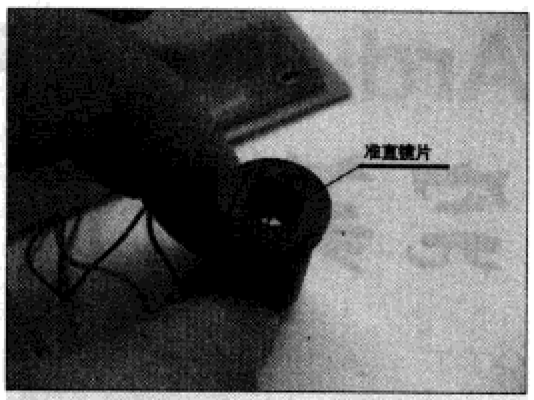


图13 注意镜片的清洁

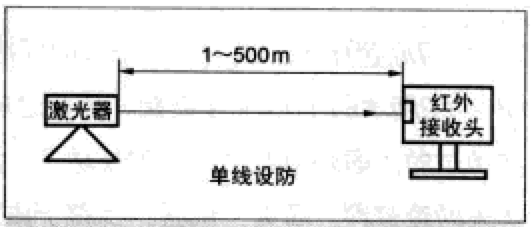


图14 单线设防示意图

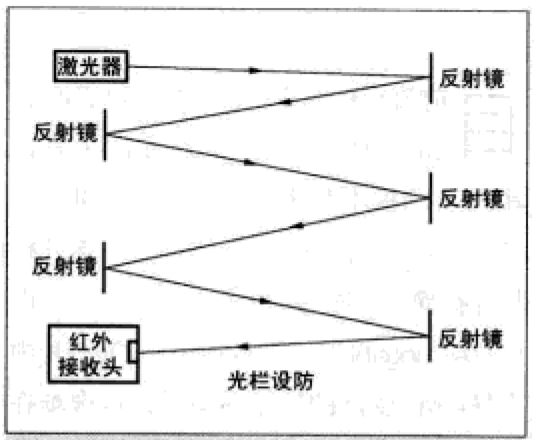


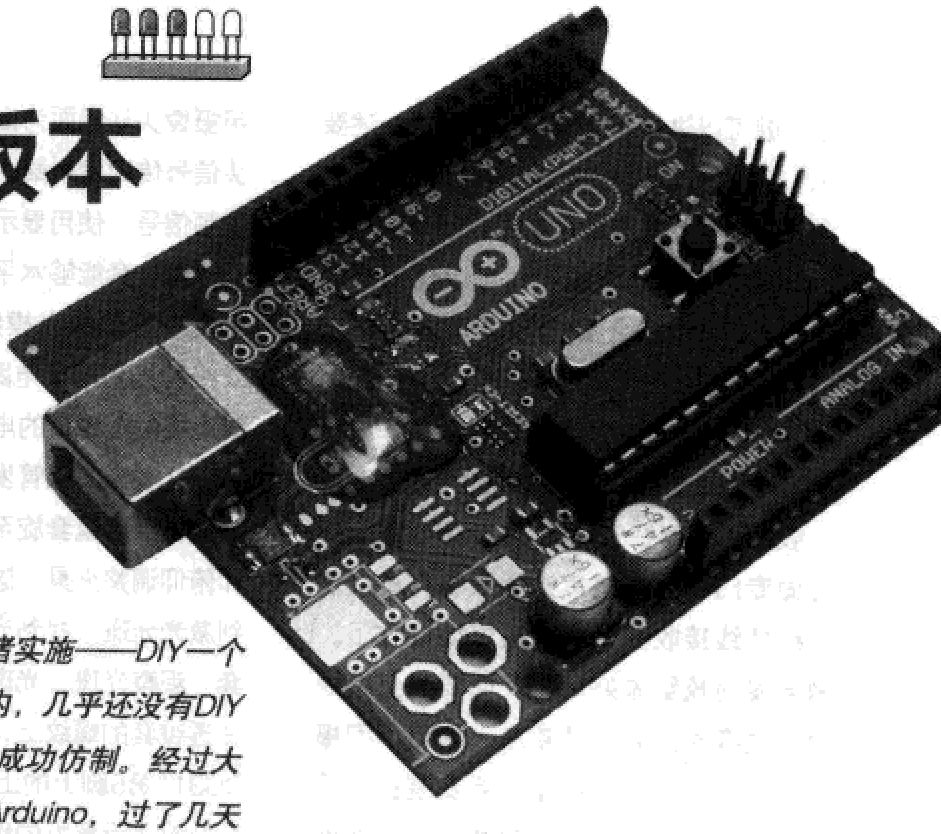
图15 密集警戒防护网示意图

使用多道激光束可以组成密集的警戒光栏，可以防止小的物体通过。多道警戒设防可以采用一对一或者采用反射镜进行多次反射，形成密集的防护网，如图15所示，这样可以密集地警戒一面窗户或者走廊等。作为家用，一般为窗户或者门口的设防，每个窗户采用一对设备，使用反射镜多次反射，对门或者窗户形成较为密集的防护网。

激光警戒系统一般工作在户外，还需要经常对光学系统各个光路上的镜片进行清洁，防止灰尘，昆虫等对其造成的影响。

Arduino CP2102版本完美DIY

◇丁丁



5月底我休了次长假，正好有时间把自己以前的一个想法付诸实施——DIY一个CP2102版本的Arduino控制板。因为之前从网上查找，全球范围内，几乎还没有DIY成功过的，国外有几个帖子说成功了，但下面跟帖的都反映不能成功仿制。经过大半天的查资料、研究、试验，我终于做好了一个CP2102版本的Arduino，过了几天又做了一个，同样成功。

目前流行的Arduino版本，如UNO、Mega2560、Duemilanove等，其USB口基本都采用了ATmega8U2、ATmega16U2、FT232RL等芯片，这几种芯片在网上的零售价大多在15~20元。而且，ATmega8U2、ATmega16U2等芯片由于是Atmel生产的较新的型号，也很难在本地买到。ATmega8U2、ATmeag16U2芯片在Arduino控制板上，主要只是用作USB转UART，实在是大材小用了。新版的Leonardo已经省略了USB IC，直接用一片ATmega32U4实现了所有功能。

CP2102是我之前一直用着的一个USB转UART芯片，Silicon出品。不论是实际使用还是网上的评论，这个片子的性能都非常让人满意。另外，这个芯片的价格与前面几种芯片相比，显得更加平易近人，网上的价格普遍在5元左右。

CP2102另外的优势在于，在实际使用时，外围不用接任何其他元件即可稳定地工作，而且还有3.3V/100mA的电源输出，用在Arduino上时，完全不用再加5V转3.3V的DC-DC元件。

Arduino官方却从没出过CP2102版本的方案。最近趁着比较空闲，我想到了做个CP2102版本的Arduino UNO控制板玩玩。Arduino UNO控制板是从网上买的，买回来对比了一下官方的PDF，发现这个版本是UNO最早的一版。由于是自己在家里用，并且几乎也没有使用大功率外围模块的可能，所以UNO的USB、外围电源切换方面的电路可以不用。简化掉这部分电路之后，可以发现Arduino的主板就是一块最小系统的AVR学习板。

首先，先用USBASP给ATmega328写好Bootloader，然后将CP2102的TXD、RXD与ATmega328的RXD、TXD连接。在32位Windows 7系统下安装CP2102的最新驱动。打开Arduino的IDE程序，选好型号、虚拟端口后，往Arduino UNO上写例程时却发现总是编程出错，错误代码是"avrdude: stk500_getsync(): not in sync resp=0x00"，见图2。这样的代码很抽象，从网上搜索，也给出一堆不同的提示，参考性不高。

用Google搜索后，发现网上都在反映CP2102用在Arduino上出现的问题。主要是Arduino在编程时，需要有一个自动复位的过程，如果编程时不能复位，编程就会失败。目前网上的方案主要有3个：

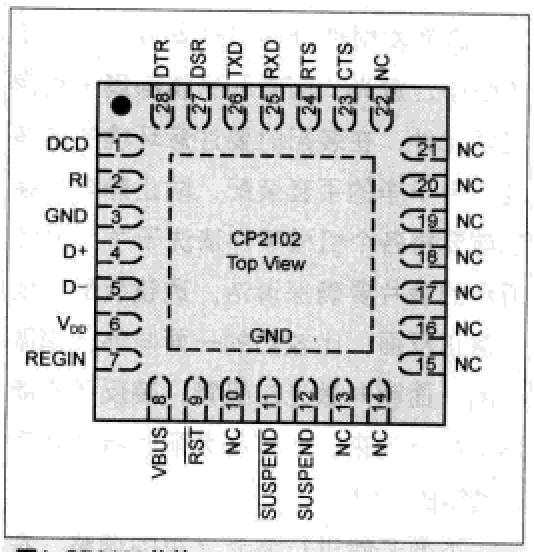


图1 CP2102芯片

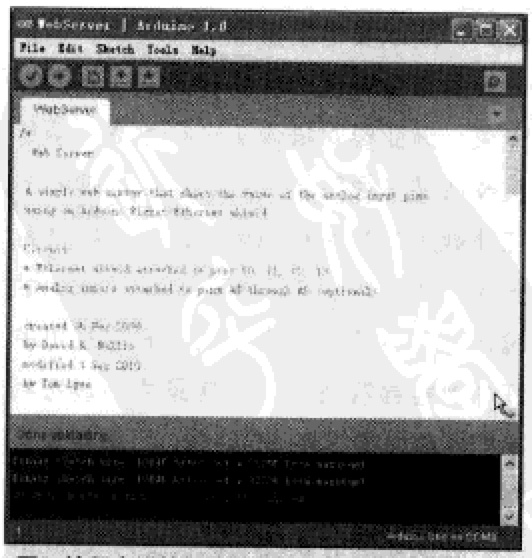


图2 编程出错的提示信息

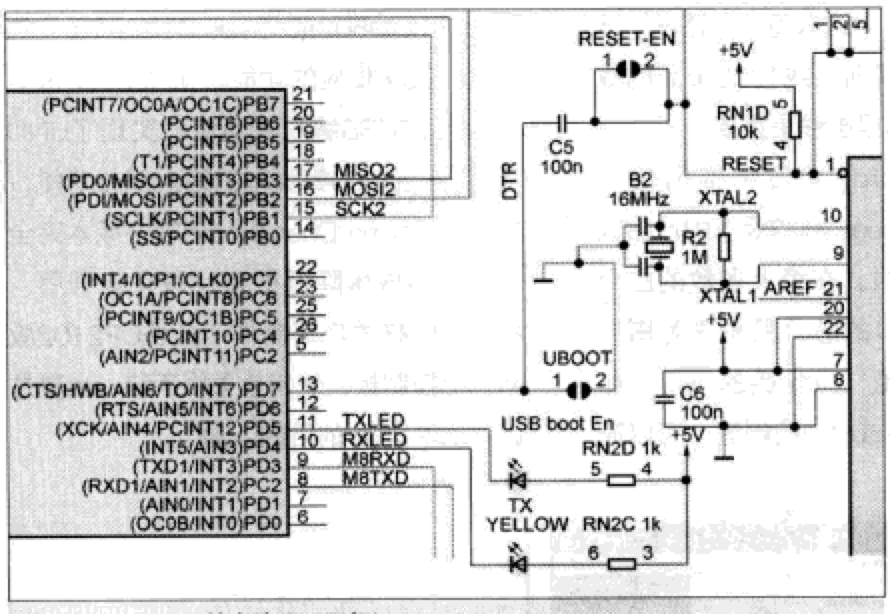


图3 Arduino UNO的电路图（局部）

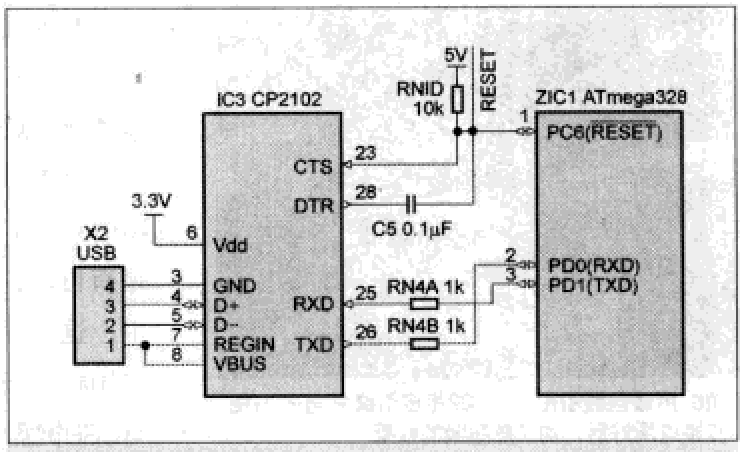


图5 CP2102版Arduino的连接方案

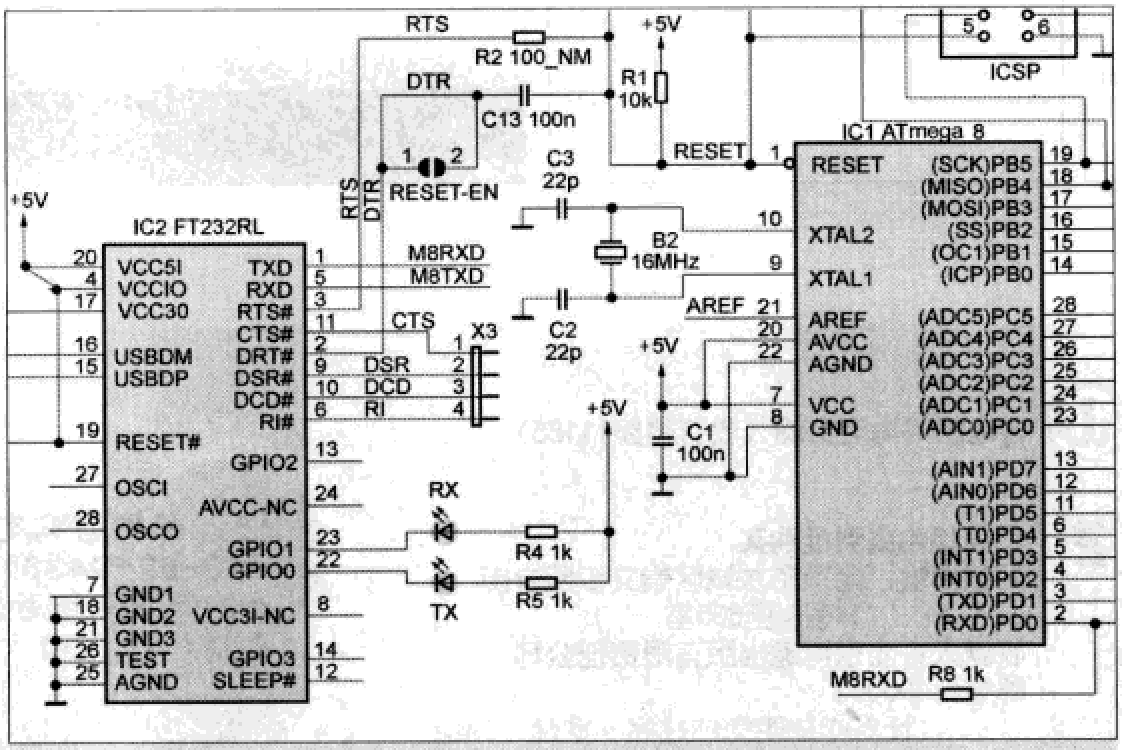


图4 Arduino Duemilanove的电路图（局部）

（1）在编程过程中，在IDE提示上载文件时，手动按板子上的RESET按钮复位。

（2）将CP2102的DTR脚引出来接到ATmega328的RESET脚上。

（3）将CP2102的DTR脚及RTS脚引出来接到ATmega328的RESET脚上。

其中，第一种方法需要连续试几次，找准复位的时机，也就是需要有经验后，才能方便地操作。虽然可以编程成功，但每一次写程序时都要手动复位，比较麻烦。

第二种方法是根据Arduino UNO的官方电路图（见图3）想出来的。DTR要通过一个0.1μF的电容接到ATmega328的RESET脚。

第三种方法是根据Arduino Duemilanove的官方电路图（见图4）想出来的。DTR要通过一个0.1μF的电容接到ATmega328的RESET脚，RTS脚直接接到ATmega328的RESET脚上。

在网上给出第二种和第三种方法的网友都说可以正常编程了，但跟贴者的回复基本都说还是存在问题，不能正常编程。

从Arduino UNO的电路图中可以看到ATmega8U2有一条DTR线要连接到ATmega328的RESET脚。在进行编程时，ATmega8U2需要给ATmega328一个信号，让其自动复位。按网上的第二种方法，将CP2102的DTR脚引出，通过C5（0.1μF电容）接到ATmega328的RESET脚，编程时依然出错。

在Arduino Duemilanove中，FT232RL芯片除了DTR外，RTS脚也引到了ATmega328的RESET脚上。按其电路接法，编程时同样会出错。

也就是说，后两种方法在实际使用时，依然不能实现预定的要求。经过我不懈努力地进行研究，终于将CP2102版Arduino的完美方案研究了出来。根据UNO的电路图，ATmega8U2的13脚其实也有个功能是CTS，将CP2102的CTS脚引出接至ATmega328的RESET脚即可，见图5、图6。经过这样的改造，使用CP2102编程就能成功，见图7。

经过测试，这样的设置，使得RESET信号时间达到了Arduino主MCU的要求，对C5电容的容量偏差不敏感。即使在使用飞线时，也能稳定地编程。有人可能很喜欢RXD、TXD在编程时LED闪烁的效果，这个电路图里没有给出，因为我个人感觉没什么用处。如果实在想要的话，可以在RXD、TXD对地接LED加1kΩ或1.5kΩ左右的电阻，阻值可根据LED的电流调整，数值尽量大一些。

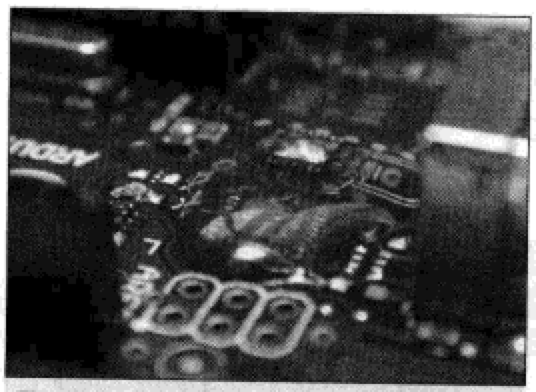


图6 用漆包线引出CP2102相应引脚并与PCB相应接点焊好后，加了热融胶的效果

有人可能说了，这么简单，还说了这么多，其实就如那划条线1000美元的故事类似，知道在哪里画线更重要。

当然，Arduino项目组推出使用ATmega8U2、ATmega16U2版本的产品也是有自己的想法的。在绝大多数的应用中，这些USB接口的芯片只是作为串口"刷机"及通信用，有少数的应用，如有USB键盘、鼠标或MIDI控制等，可以通过给ATmega8U2或ATmega16U2刷固件的形式，实现相应的功能。用CP2102来做Arduino的USB编程及通信，实现了UNO及ATmega2560等版本的绝大部分功能，功能与Arduino Duemilanove官方版本完全一样，但成本降低很多。做完这个后，我又用同样的电路制作了几块CP2102版Arduino控制板，使用效果很不错，也算是达到了本次DIY的目的。

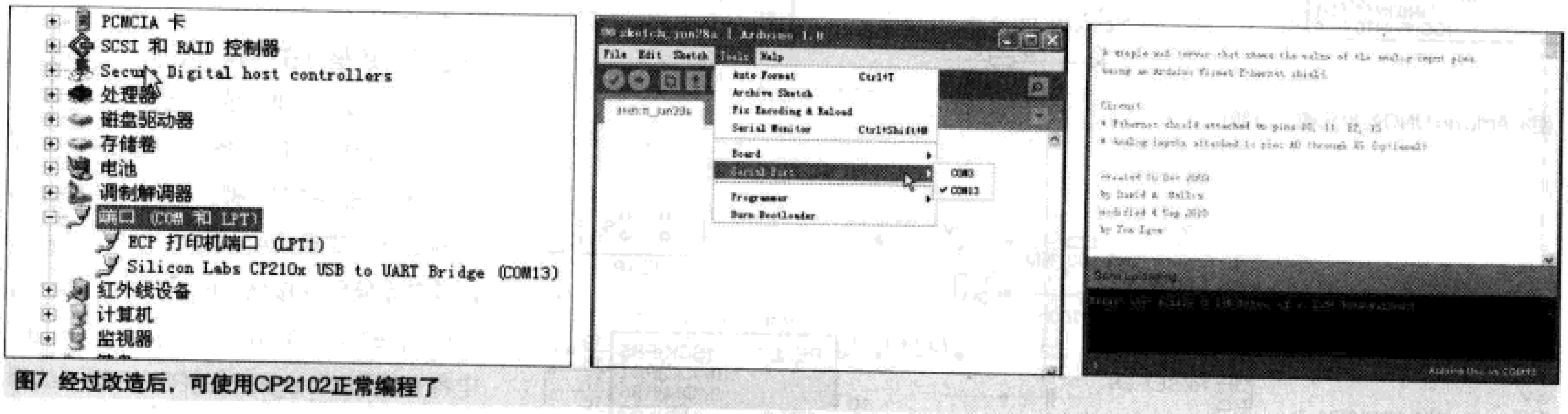
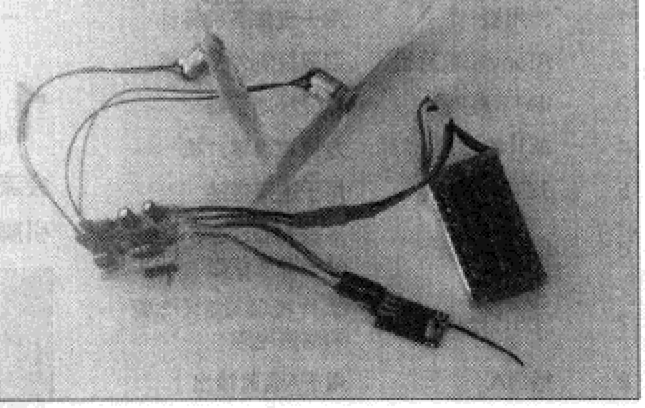


图7 经过改造后，可使用CP2102正常编程了

双通道电机控制器

◇张彬杰



起源

上初中的时候，记得某次物理考试，我考了100分，爸爸给我买了一架固定翼飞机作为奖励。那时的我玩玩遥控赛车还行，玩飞机就没什么经验了，果不其然，首飞就炸机了。飞机的机翼断成了两截，我当时很难受，也不好意思把飞机残骸拿回家。现在，我依旧玩模型飞机，经验比起以前丰富许多，如果是现在的我，控制那时的模型飞机，肯定会淡定许多。当时，购买的固定翼飞机叫猎鹰，是双通道的飞机，由两个电机控制飞机飞行。当飞机要转弯时，一个电机加速转动，另外一个则减速，它们的转数差让飞机转向。遥控器是比例遥控，即不同的位置代表不同的电机转数。现在，网上还有人出售类似的模型飞机，只是所用的遥控器多已经不再是比例控制的了。那些遥控仅仅是控制电机，让它转动或者不转动。于是，我就有了现在的制作——电机转数控制器，在模型里也称作有刷电调。

功能作用

先来说说它是什么东西，一般能用在什么地方呢？如图1所示，是这个制作的全家福，最上面的是天地飞4通道的遥控器，右下角就是这个遥控器对应的接收机。锂电池在接收机上方，可以为电机控制器供电，电机控制器经过电压转化，把5V的电源供给接收机。通过遥控器左边的油门（左手油门）来控制A通道的转数，通过遥控器的其他通道来控制B通道的转数。当然，你可以通过插入不同的通道，来改变使用的摇杆，或者通过修改程序进行修改，但是这个方法比较麻烦。运行的效果可以看我录制好的视频。简单地修改程序使它能实现很多种用途。

1. 两个通道合并使用能驱动更大功率的电机，可以作为较大功率的电机转数控制器使用。

2. 两个通道分开使用，用在固定翼上。驱动机翼两侧的电机，控制飞机的飞行。

3. 用在直升机的主旋翼和尾旋翼上，控制直升机的高度和转向。但若用在直升机上，最好还要加陀螺仪来稳定尾部旋转（不然或多或少会自旋）。

总之，程序已经分享，它很简单，但可能也有没被发现的小问题。大家很容易就能修改，用在需要的地方。

主要部件

这次制作的主角是8个引脚的ATtiny13单片机，即图2中编号为2的零件。

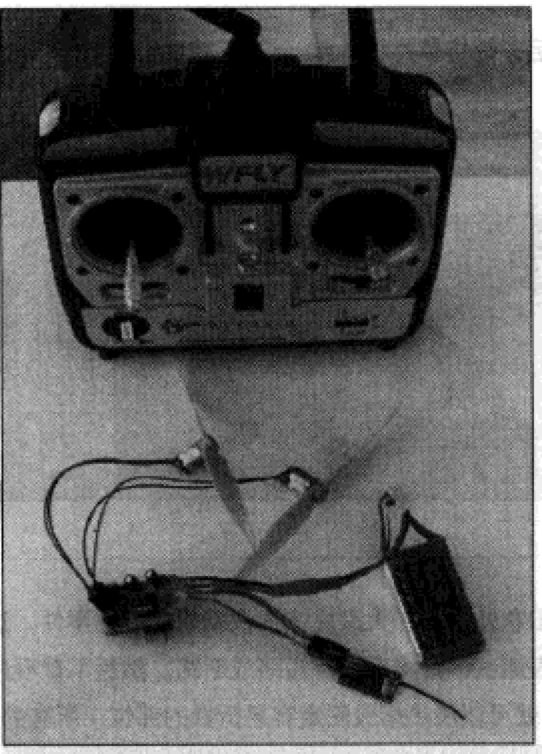


图1 本制作的全家福

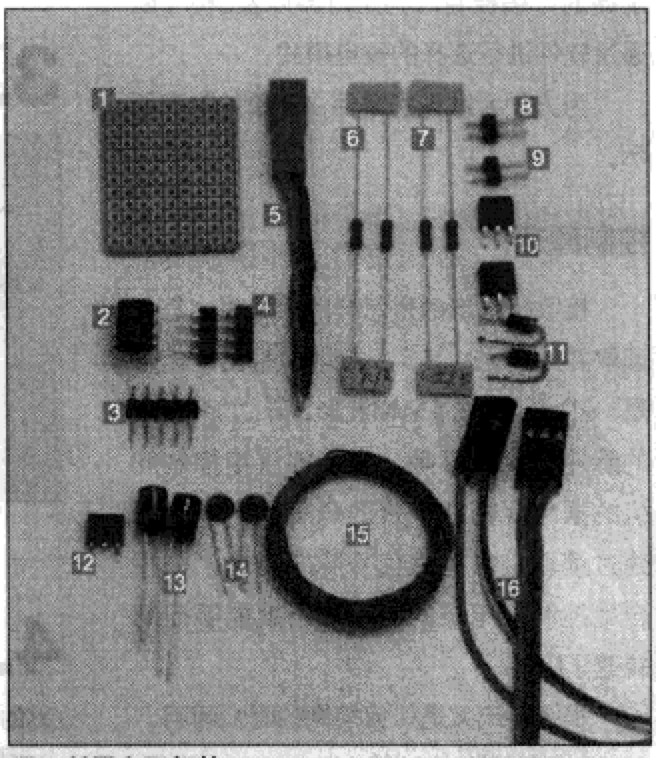


图2 所用主要部件

附表　零件清单

编号	名称	作用
1	万用板	用于支撑各种零件
2	ATtiny13单片机	读取控制外围信号
3	ISP下载插针	方便程序下载
4	单片机插座	方便更换单片机
5	JST电源插座	用于连接电池
6	3.7kΩ电阻	下拉MOS管，让它处于稳定状态
7	220Ω电阻	单片机驱动MOS管的限流电阻
8	插针A	用于A通道输出
9	插针B	用于B通道输出
10	N-MOS管	分别用于AB通道的功率输出
11	二极管	防止断电时，把MOS管打掉
12	78M05	稳定电压到5.0V
13	电解电容	和78M05配合，用于滤波
14	瓷片电容	和78M06配合，用于滤波
15	绝缘导线	用于连接电路信号
16	2.54间距的舵机插头（兼容futaba/jr接收机）	用于连接接收机

ATtiny13是AVR单片机，它有1KB Flash、64 字节EEPROM、64 字节SRAM、6 个通用 I/O 口线、 32 个通用工作寄存器、1个具有比较模式的8 位定时器/ 计数器、片内/ 外中断、4 路10 位ADC、具有片内振荡器的可编程看门狗定时器以及3种可以通过软件进行选择的省电模式。

为方便大家识别零件，清单如附表所示。

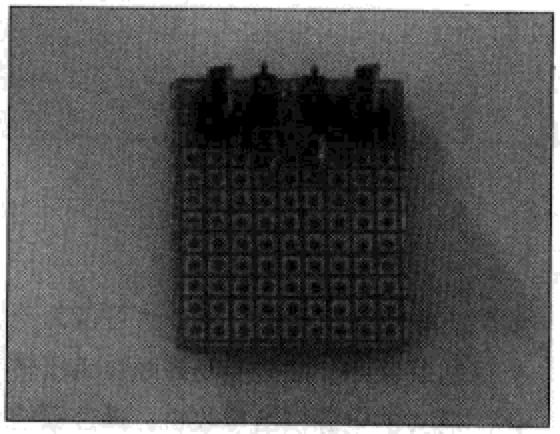
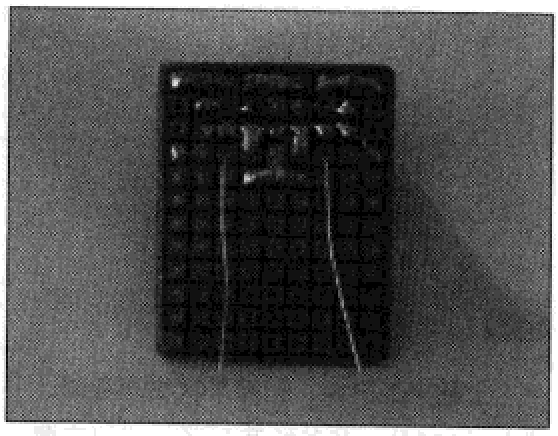
控制原理

接收机输出的是怎样的信号呢？怎么读取并处理呢？其实，接收机输出的信号是1～2ms脉宽的PWM波形，不过1～2ms的脉冲是高电平哦，它能够直接控制舵机的摆臂保持在一定的角度。这样，先通过读取接收机的信号脉冲宽度，再相应地控制好电机的电流，不就能够控制转速了吗？

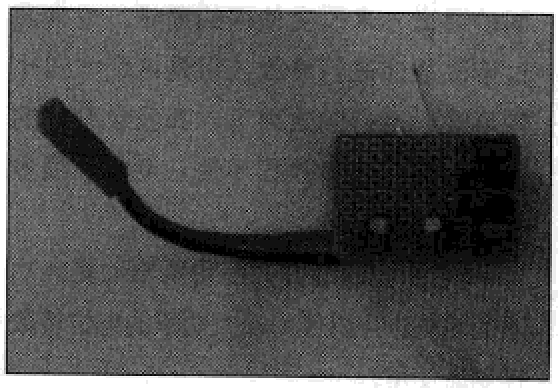
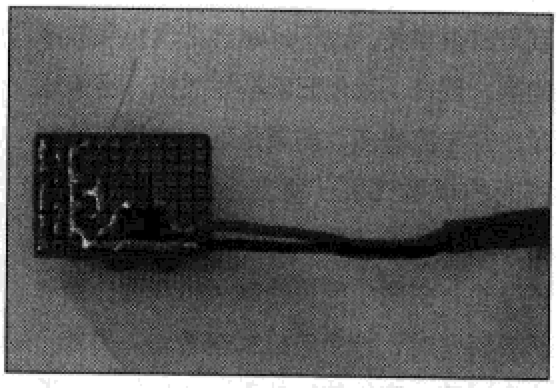
那么电流又是如何控制的呢？呵呵，ATtiny13有2路PWM输出，在9.6MHz的系

制作过程

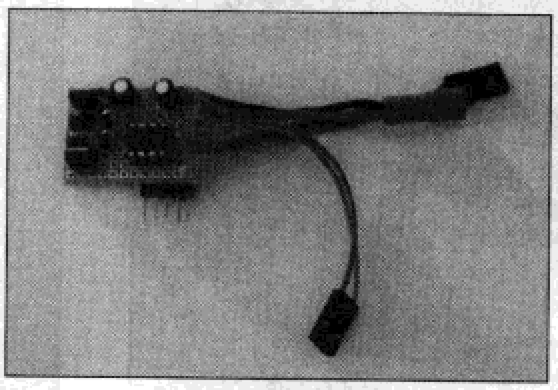
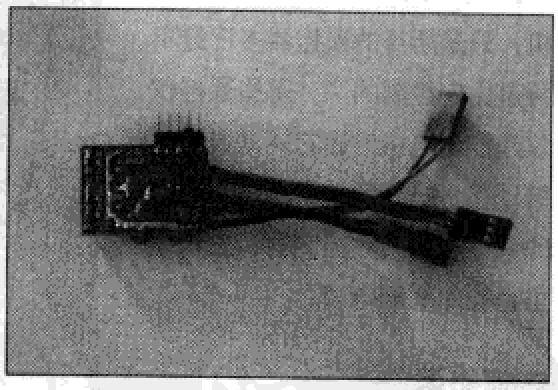
1. 首先准备好材料，还好零件不多，总共也就16个。剪裁万用板到合适的大小，这取决于你的焊接水平，板子小的话就不太好焊接。我选择先焊接MOS功率管，由于MOS管将会流过可能高达10A的峰值电流，所以焊接用的导线一定不能太细。因此，我使用电阻的多余引脚作为焊接的导线。

2. 紧接着，我焊接稳压芯片和4个滤波用的电容，同样也需要较粗的导线焊接。然后，把JST接口线焊接到万用板的边缘。

3. 最后，焊接单片机插座、ISP下载插针和两个接收机插头。

4. 不出意外的话，大家应该很快就能焊接好零件，这时，先休息一下，别急着上电。用万用表测试下焊接有没有短路或断路。然后下载程序，验证一下功能有没有问题。一切都OK的话，就可以用热熔胶固定容易折损的部位。所有的步骤都完成后，就好好地享受它吧。

统时钟下，它的最高频率为37.5kHz，这也是我程序中设置的频率。功率输出实际通过调整PWM的高电平脉宽大小实现，相当于调整了输出的5V电压在26μs重复时间片段内的占用时间比例。让单片机的PWM输出和场效应管的栅极（G）连接，那么漏极（D）和源极（S）就会跟着导通和断开，导通和断开的时间由单片机输出的PWM的高电平脉宽宽度决定，导通时间长（脉宽大）输出的功率就大。

上面说到了2个PWM，那么什么是PWM呢？PWM是英文“Pulse Width Modulation”的缩写，简称脉宽调制，它是利用微处理器的输出，来对模拟电路进行控制的一种技术。广泛应用于测量、通信、功率控制与变换等许多领域。这次的小制作就用到了数据变换（摇杆的位置与脉冲的宽度相对应）和功率控制（脉冲的宽度和电流的大小相对应）。

原理图解读

图3所示是此次制作的电路原理图，如果你的ATtiny13是新买的，记得要设置它的时钟源，并且时钟不分频。这个设置可以通过ISP下载线改变，并确认ATtiny13单片机的内部时钟源为9.6MHz的速度。电源方面，由于5V电压不仅给单片机使用，而且还要给接收机供电。所以，我使用78M05稳压，而不是78L05。为什么将MOS管分别连接到PB1和PB0呢？因为单片机的这两个引脚才有输出PWM功能。由于我使用的是小型电机，电流峰值可能不会超过5A，所以MOS管可以选择多种型号，如IRLR7843、IRFR1205以及FDW9926a等。这些都是N型的MOS管，只是因为程序中设置了高电平驱动。你也可以尝试下P型的MOS管，如FDD6637和IRFR5305等，当然程序和电路要做相应的改变。为了尽快实现响应，连接接收机的两个通道都实现了中断响应，不过响应是交叉的，即先读取A通道再读取B通道。幸运的是，ATtiny13的每个引脚都可响应电平变化中断，不必为中断引脚不够而烦恼，因此，放心地连接接收机的信号线到任意的引脚吧。

程序编写

刚编写好程序时，我发现PWM达到30%时，电机才能缓缓地转动起来。后来想想也是，电机启动一般需要较高启动电压，低于30%的PWM根本驱动不了电机，这就要通过程序做相应调整了。不过，不同的电机可能启动电压也不一样，图4中所示的最小的电机启动电压就小很多，然而，还要注意别把电机给烧了。小电机的最高持续驱动电压仅为4.5V左右，过高的电压将影响它的寿命，所以，程序中还要限制它的最高输出电压。方法也是通过调整PWM来实现，即调整高电平脉宽，周期内始终低于一定比例。好了，说了这么多，看看程序是怎么实现的吧。

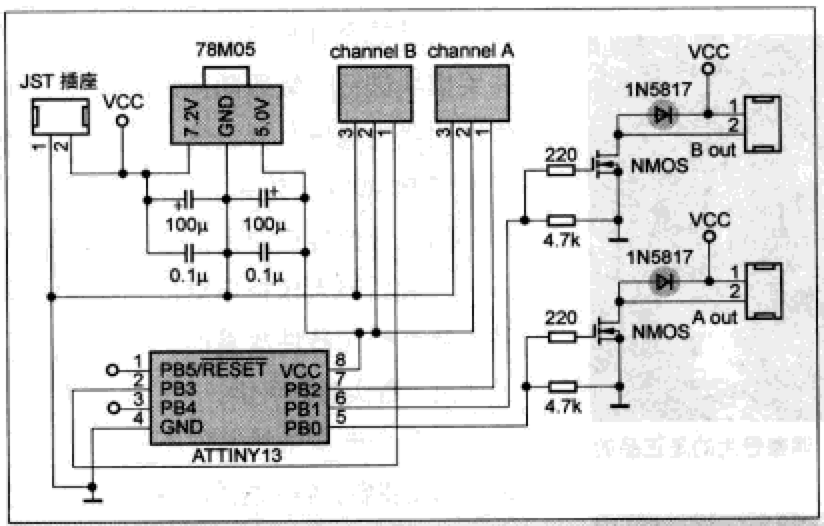


图3 电路原理图

程序中2路PWM都依赖定时器T0进行自动匹配输出，这样时钟就不会停下来，一但停下来PWM输出就会出现问题，不是0%输出，就是100%输出。所以，程序经过了一系列的巧妙中断，最后计算得到PWM数值。过程如下：单片机收到来自接收机的高电平后，就产生电平变化中断。在电平变化中断函数中，先关闭电平变化中断允许，并开启定时器溢出中断允许，然后退出本次中断，经过26μs左右，定时器产生中断。在定时器中断函数中，用count这个变量进行自加1计数。解释一下，为什么26μs产生定时器中断呢？初始化定时器时，PWM的频率为37.5kHz，这个频率也是定时器中断的频率，目的是让PWM引脚重新载入电平数值。所以，每次时钟中断一次约26μs，这样判断中断引脚的高电平持续时间就由count决定。当count=40时，高电平的持续时间约为1ms，当count=80时，高电平的持续时间约为2ms。这些数据都确认完毕后，通过OCR0A=（count-40）×4+90，这个程序语句，就输出了对应的脉宽。OCR0A指的就是A通道实际PWM输出的大小，最大为255（100%电压输出），最小为0（0%电压输出）。count就是刚才说的中断次数，90代表电机启动电压（30%电压输出），通过修改90这个参数可以改变电机的启动电压。同时修改4这个比例常量，来限制电机的最高负荷电压，另外一个通道也是同样的原理。程序不多仅仅有几十行（一页都不到），相信大家很容易读懂。有不完善的地方，请大家自己修改。

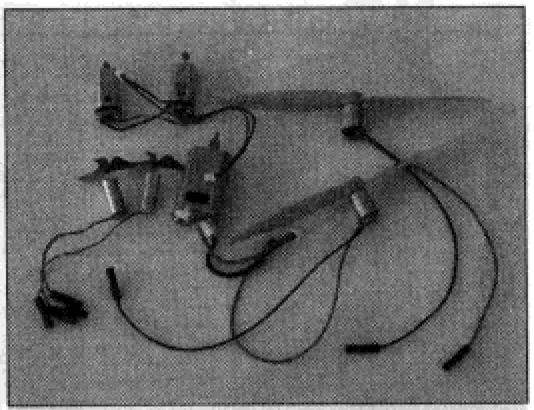


图4 电机

■ 本制作相关程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

精密数控电源自制全攻略

◇蒋政森

制作前传

2008年，我自制了第一台数控电源，当时那台电源比较简陋，用的是M8，输出两路PWM进行二阶积分作为基准电压，OP07运放作为控制器，输入用的是4×4矩阵键盘，电路板是用热转印自制的。

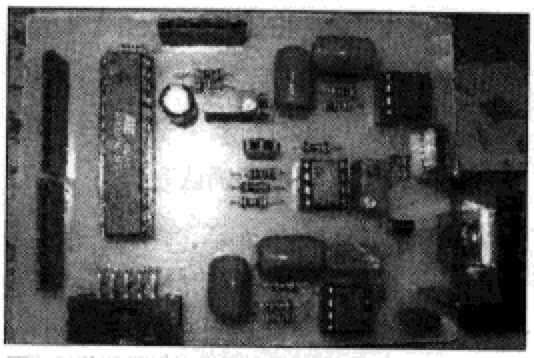


图1 以前用热转印做的主控板正面

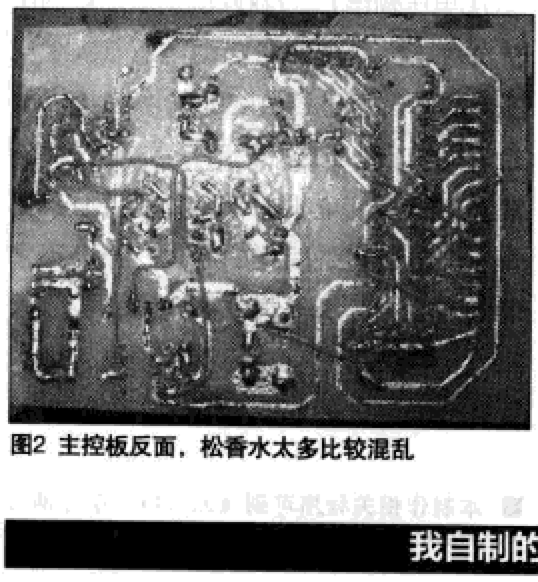


图2 主控板反面，松香水太多比较混乱

图3 第一台数控电源的外观

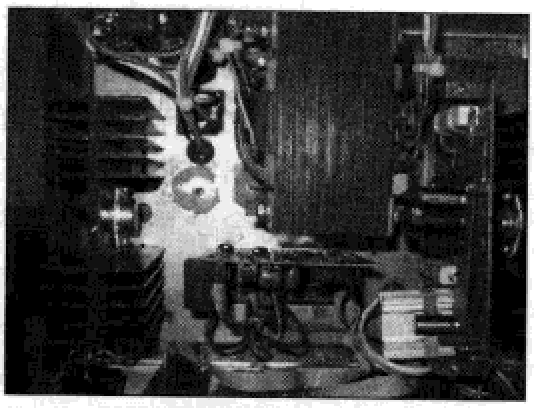


图4 第一台数控电源内部，调整管用的是正品的3DD9D

我自制的第一台电源

尽管对于以前我用的电源来说，那是一个进步不少的东西，但是依然存在不少问题：

- ☑ 电压不精确，漂移严重，原因是当时图方便、无经验，取样电阻就用了一个多圈电位器直接进行分压，造成本身温漂就大。
- ☑ 结构设计缺陷，散热器是被动散热的，内部温度高，导致温漂更加厉害。
- ☑ PWM二阶积分做基准本身就不太精确，M8内置AD（10bit）分辨率也不够。
- ☑ 机壳用的原有电源机壳，老旧且体积大、不美观，矩阵按键手感不好。
- ☑ 当时编程水平有限，程序用了大量延时函数，按键程序优化不好，造成按键反应慢。
- ☑ 设计经验不足，电路设计有些小缺陷。

第一台电源制作失败之后，我准备用开关电源再做一台双路的。第二台电源的设计思路比较先进，用的KIC-125开关模块进行一级跟随降压，第二级用传统的线性稳压，并且这一次笔者自制了风道散热器，效果不错（今天我要介绍的这台数控电源用的也是这台散热器）。最后因为模拟电路的一些设计缺陷以及有些元器件故障而夭折，废了不少功夫，着实感到可惜。

这两个电源虽然制作不够成功，但是为本文将要介绍的主角的制作积累了经验。接受前两台电源的教训，这一次我重

新进行了全面设计，整个电源从设计到完工，历时2个月，其间总的来说，一帆风顺，但是也有一点小波折，现在整理出来和大家分享。

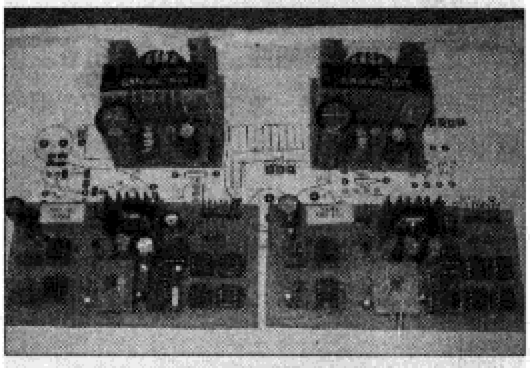


图5 第2台电源的制作引入了模块化设计的经验

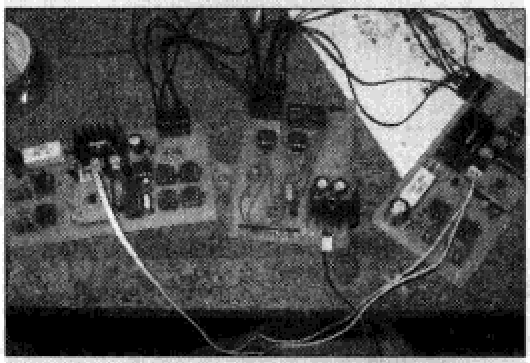


图6 用了光耦对MCU板和模拟板进行全隔离数据通信，AD输入和DA输出都是全隔离

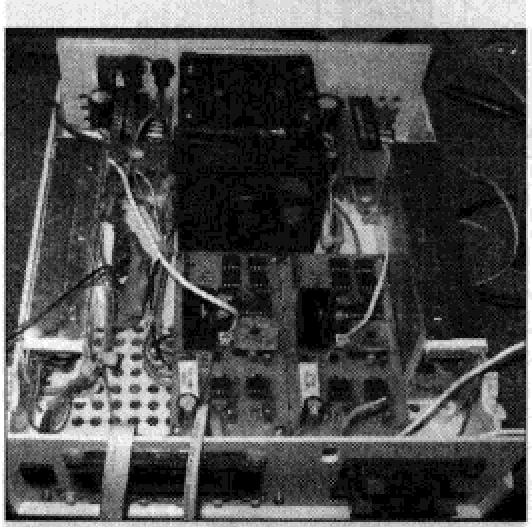


图7 内部用了风道散热器和开关电源

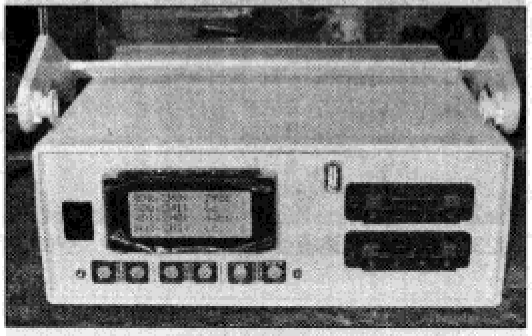


图8 外部用的1604液晶屏和USB通信口

我自制的第二台电源

开始制作

这次我的制作目标还是一台纯线性的电源，也是桌面实验用电源，线性电源的纹波干扰也好控制，过载能力强，相对安全。因此，这台电源的设计制作要达到的初衷是：输出电压、电流精确，温度漂移小，纹波小，操作方便，人性化，界面简洁高效，散热好。

电源外壳是我在网上花了45元买的一个UPS空壳，做工不错，大小也合适。变压器用的是20世纪80年代国营大厂生产的，输出电压0~6.3V，34V-0V-34V，0~26V，带静电屏蔽层、做工很好、发热小、运行起来很安静，功率300W以内，所以，设计输出电压时，我选取了较为保守的方案0~25V，0~5A。

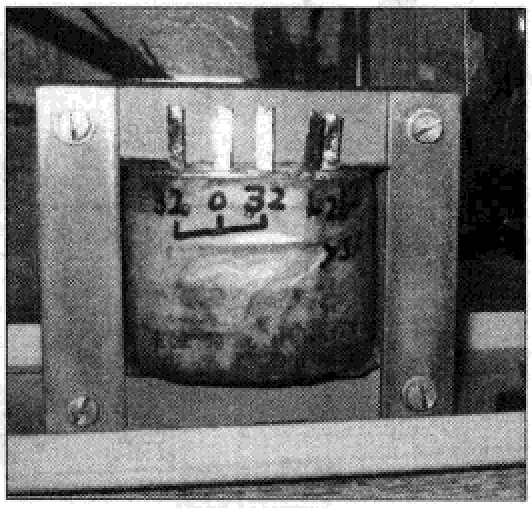


图9 20世纪80年代国营大厂生产的变压器

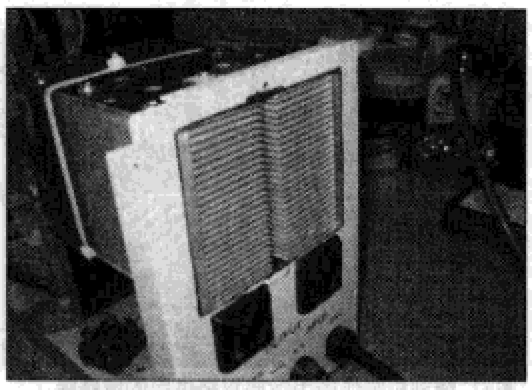


图10 自制的风道散热器

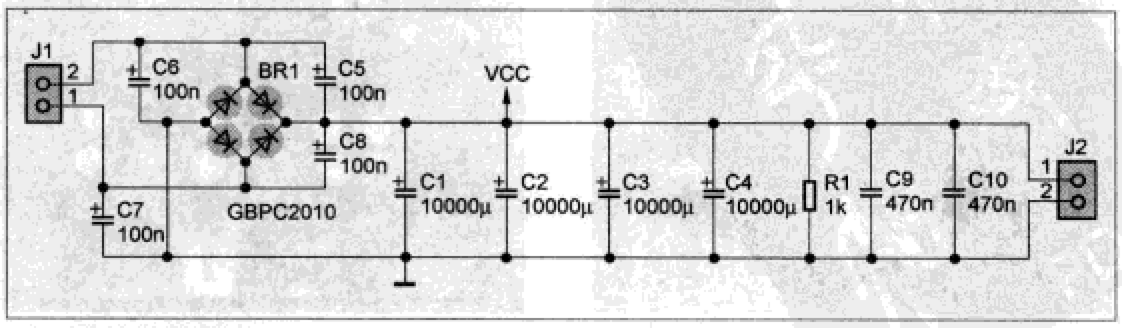


图11 整流滤波板电路图

此次电源所用的整流滤波板，是用雕刻机做的板子，20A的桥堆，桥堆在底面涂上硅脂，将底盘作为散热器，用了4个63V/10000μF的滤波电容。

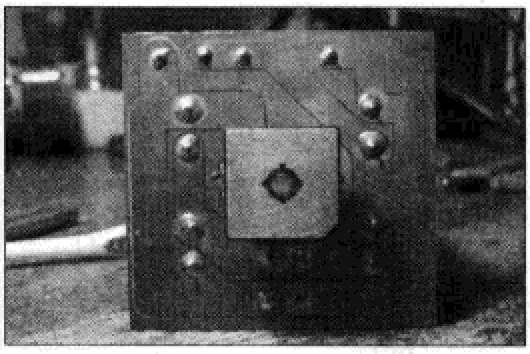


图12 整流滤波板底盘

图13 63V/10000μF的滤波电容

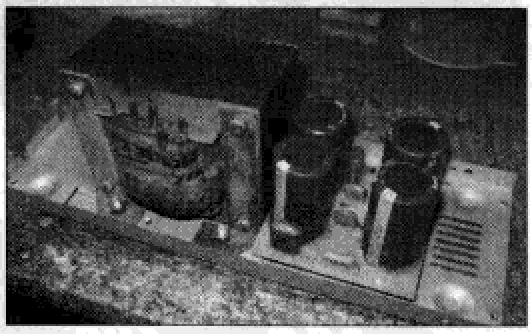


图14 打孔安装，大小合适

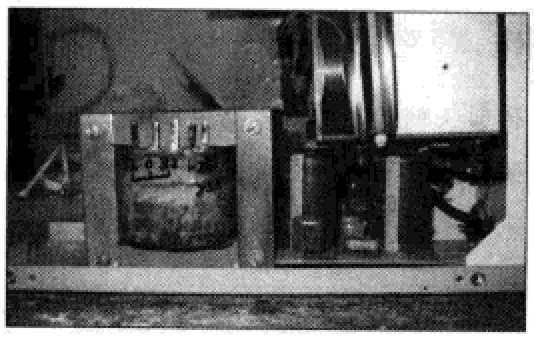


图15 装上散热器

接下来开始进行调整管输出部分电路板的制作。

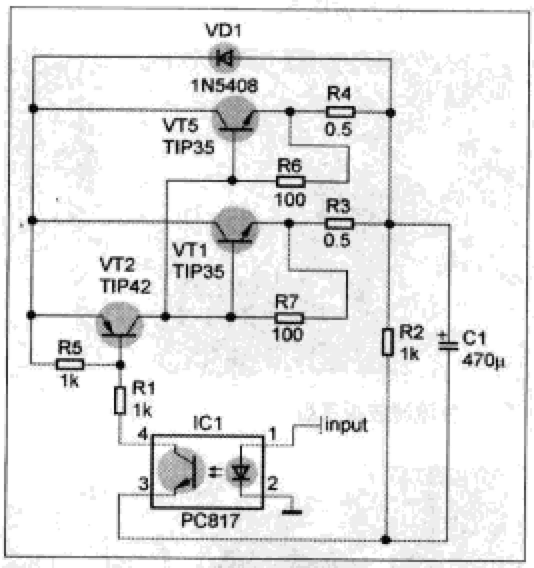


图16 调整管输出部分的电路图

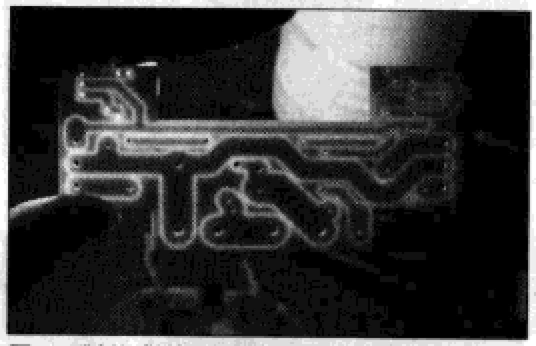


图17 雕刻机做的调整管输出部分电路板

开始焊接元件，调整管用的是TIP35C，15A，125W功耗，用DALE 0.5Ω电阻进行均流。

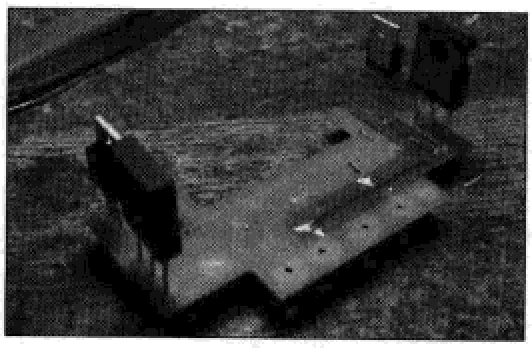


图18 焊接元器件

焊接完成后，先装在散热器后面板上看一下效果，确实不错。

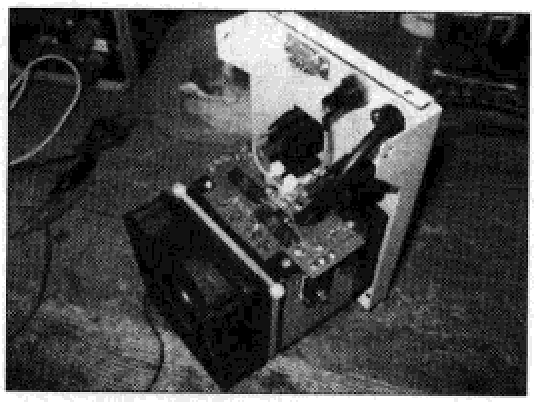


图19 装入散热器后面板

图21是笔者用雕刻机做的为运放双路供电的电路板。因为变压器自身限制，采用了两级稳压，先用三极管把44V直流电压降到22V左右，然后再用7812和7912输出±12V，上面外带了一路给CPU板供电的+5V电源。

这里有一个小插曲，装上后带负载发现5V那一路电压不够，急中生智，把6.3V那一路交流输出倍压整流后，再送入5V稳压板，这下就完全搞定了。而且倍压后大概在12V的样子，也正好给散热器风扇供电。

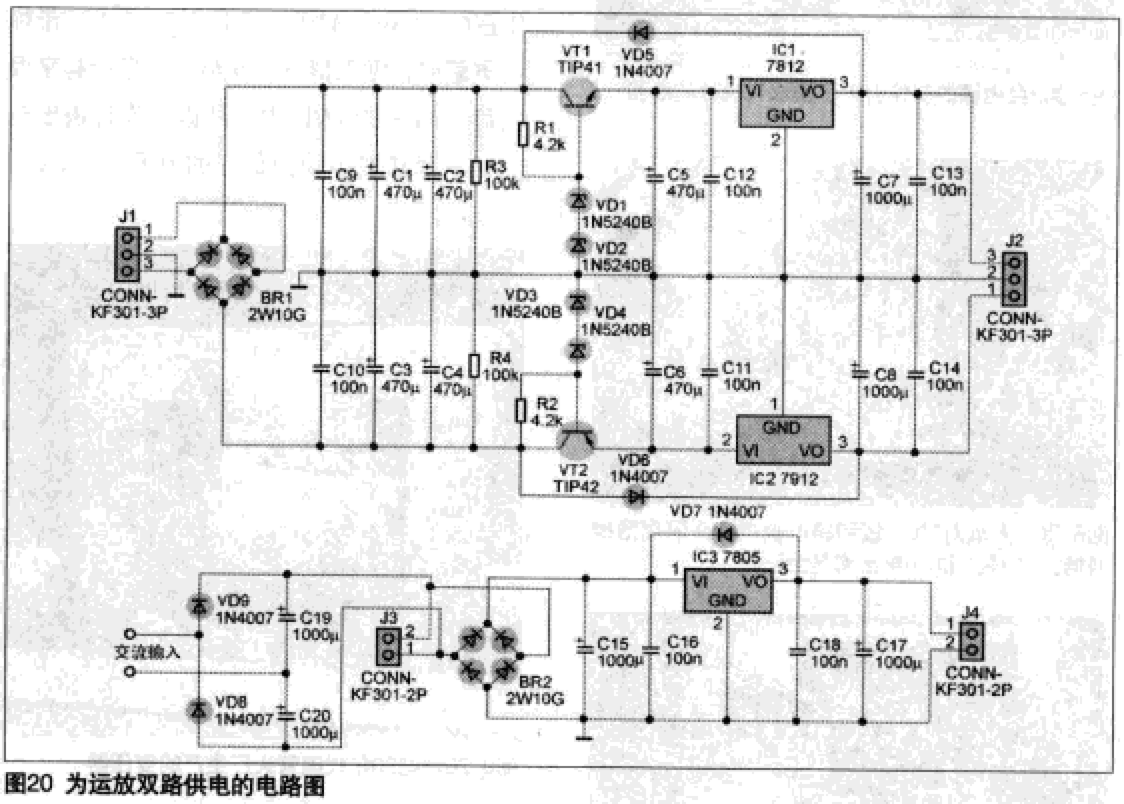


图20 为运放双路供电的电路图

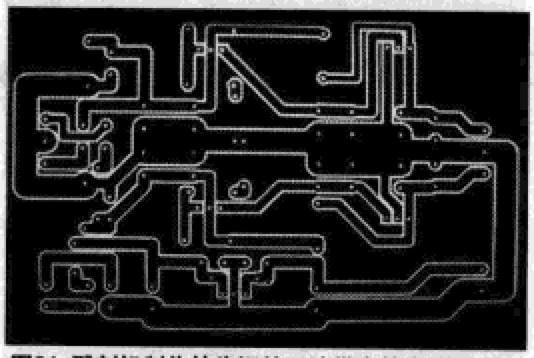


图21 雕刻机制作的为运放双路供电的电路板

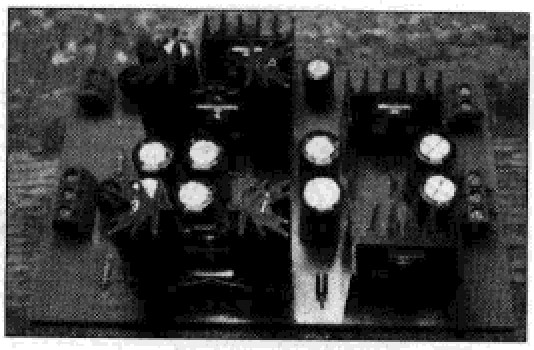


图22 焊接完成运放供电电路电路板上

为运放双路供电的电路板焊接完毕后，用螺丝装载在变压器上面，空间正好合适。

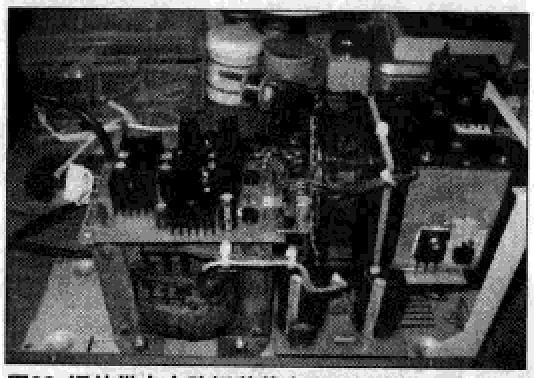


图23 运放供电电路板装载在变压器上面，空间合适

装载之后整理一下走线，然后开始用雕刻机铣前面板，前面板是用ARTCAM设计的，这次雕刻机可是立功了。

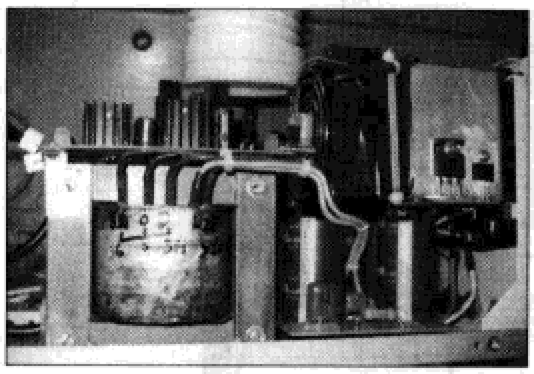


图24 整理走线

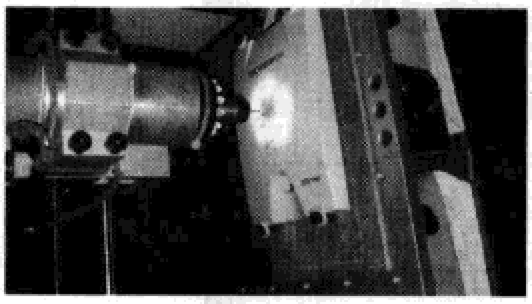


图25 铣前面板

前面板制作完成之后，进行器件装载，整体安装很合适，如图26所示。电源开关是从star针式打印机上面拆的一个德国产的电源开关，蓝色的是一个OUTPUT自锁开关，黄色（上）和白色（下）旋钮不是电位器，是ALPS的EC11旋转编码器。这个编码器很给力，调节很方便。液晶屏用的是1604字符液晶屏，输出接头是纯铜的带香蕉插座的专用接线柱。

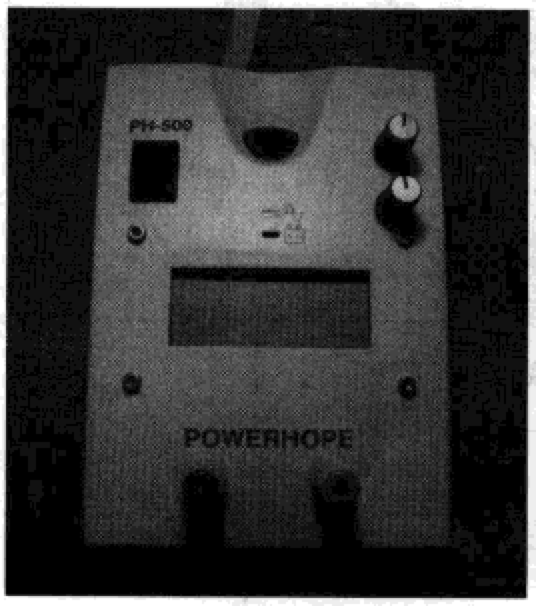


图26 前面板

将前面板的铁框架装上去，然后寻找需要开孔的位置，准备开孔。开孔也是用雕刻机进行的，但这次是给铁板开孔，我的雕刻机应付起来有些吃力。在开孔完成之后进行组装，整体来看尚可。可惜的是，在这次的制作“战斗”中，我的铣刀“牺牲”了。

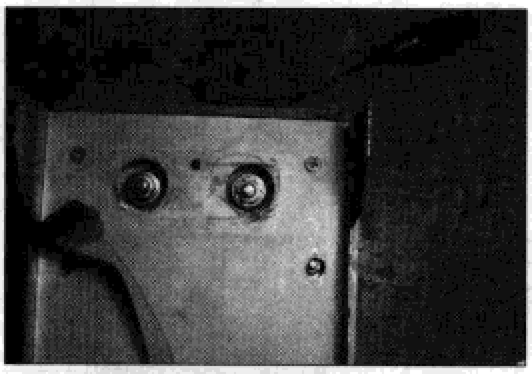


图27 对开孔完成之后的前面板进行一下组装

图28 因工“牺牲”的铣刀

在安装完成之后，进行通电测试，效果不错。

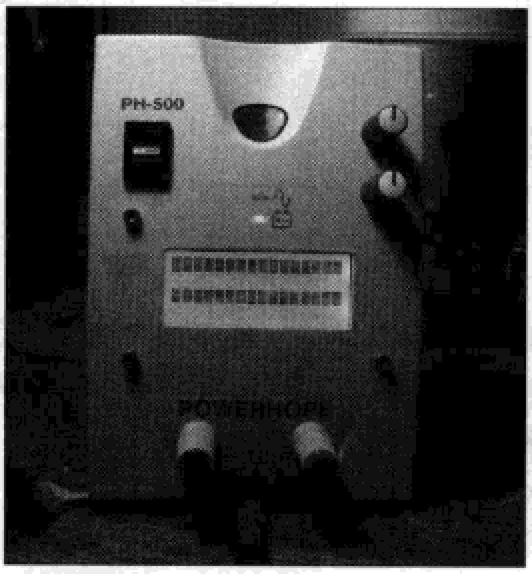


图29 通电测试

接下来把前面板装上去看看内部剩余空间如何，做好进一步安装主控板的准备工作。

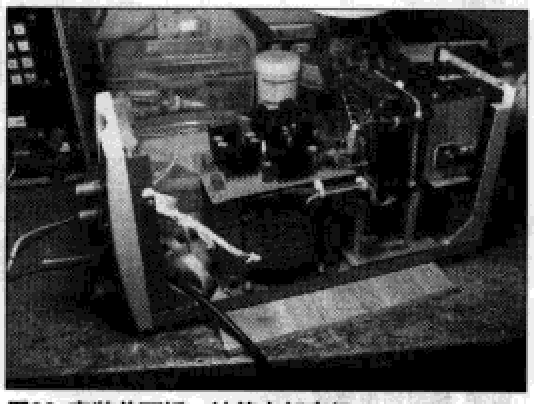


图30 安装前面板，计算内部空间

之后再将各种电源线、信号线等引出、扎好，为下一步做好准备。

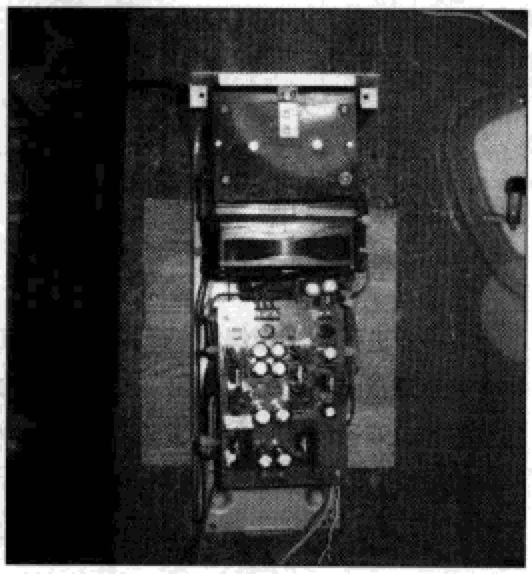


图31 线材引出（顶视图）

在主控电路设计完成之后，用雕刻机刻电路板。

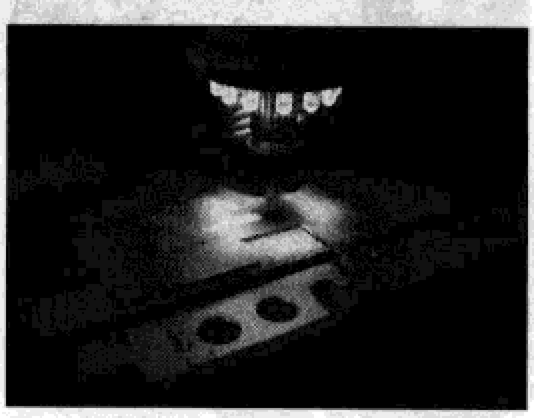


图32 雕刻主控板电路板

图34 制作完成的主控板

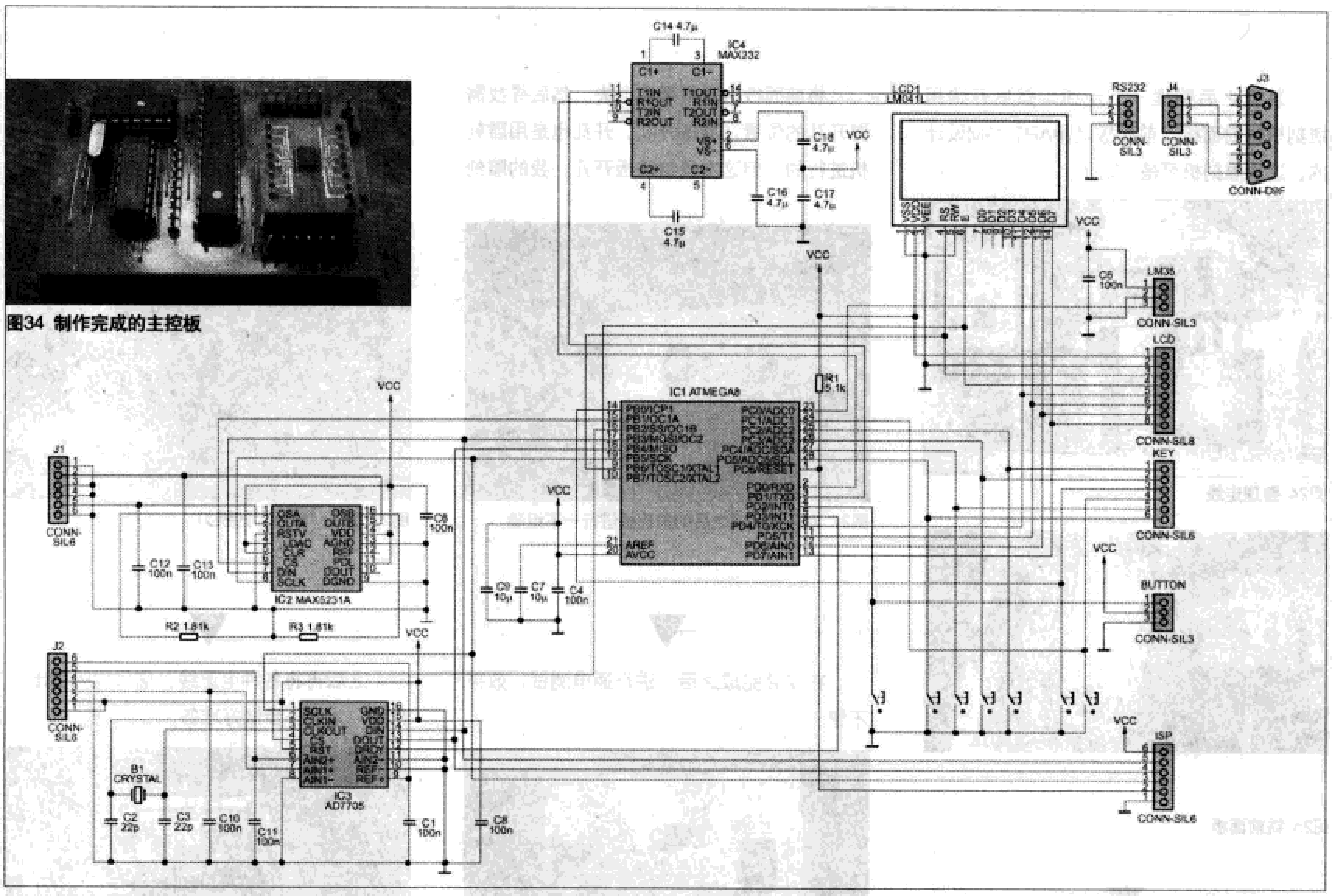


图33 主控板电路图

下一步进行MCU板焊接，还是用的M8直插芯片，AD用的16位的双通道MX7705，DA用的MAX5321，自带10×10^{-6}内部基准的12位双通道串行DA。通信还是用的MAX232CPE，做成了插座模块化，直接插上去，便于维护。

终于到了这次的重头戏——模拟板，还是用雕刻机刻制。

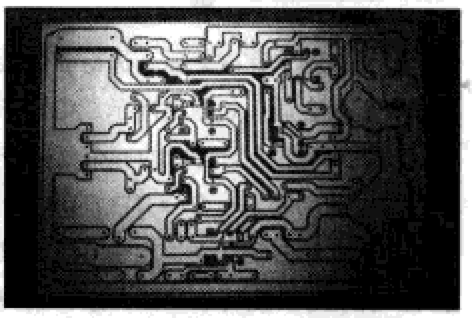


图37 模拟板电路板

主控板安装完成之后，写了一个测试程序，整体表现良好。

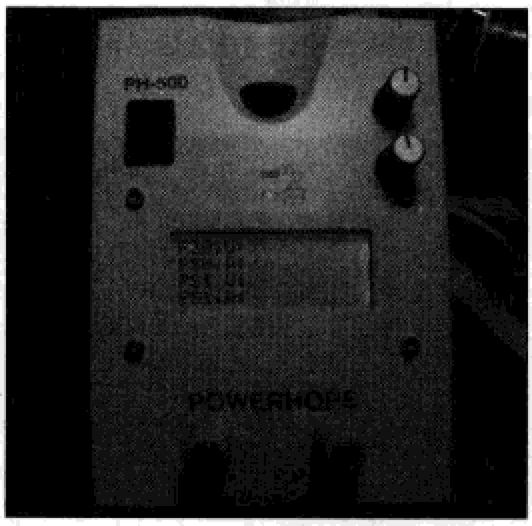


图35 简单测试

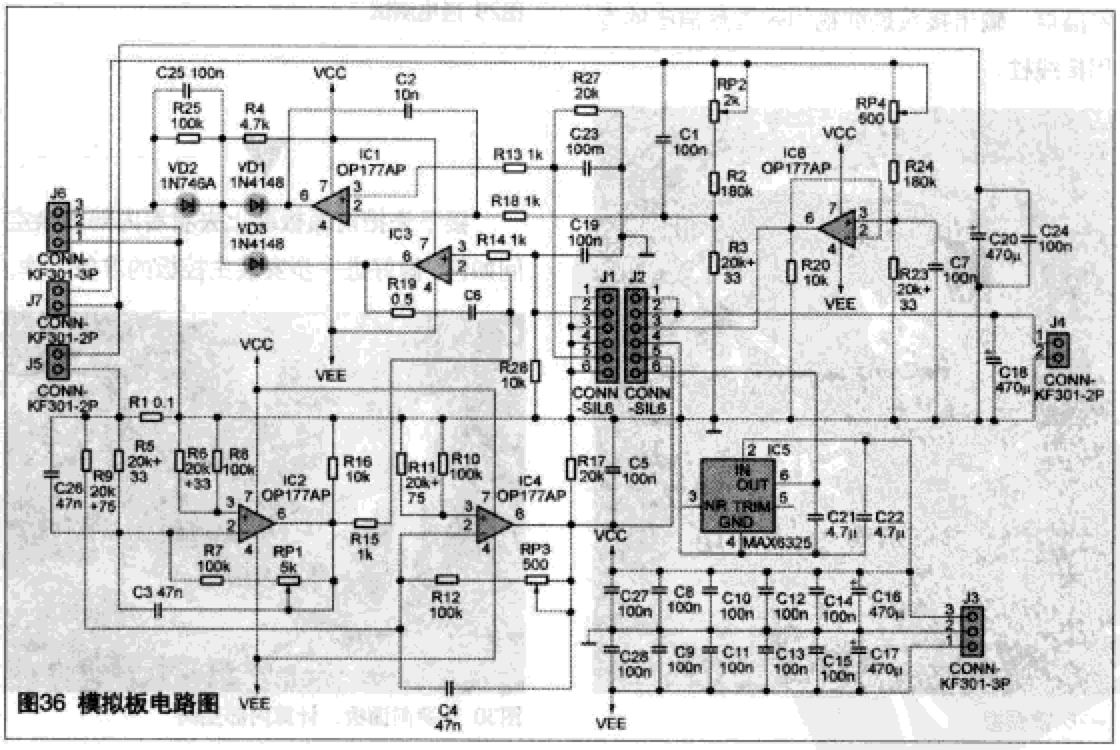


图36 模拟板电路图

该板用的运放是OP177GP低失调精密运放，运放分压电阻全部用的718厂的25×10^{-6}/0.1%精密金属膜电阻，电流检测用的DALE LVR-5 0.1Ω，还有一个芯片是MAX6325，其主要用途是给AD、MX7705做基准的2.5000V基准芯片，稳定性为1.5×10^{-6}。

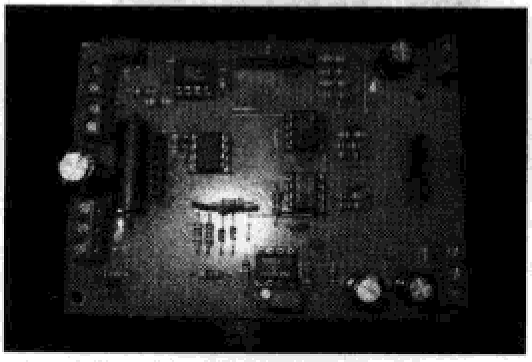


图38 焊接完成之后的模拟板电路

在对模拟电路板焊接完成之后，散热器上加入了LM35温度检测IC，此时可以先组装起来看看效果。

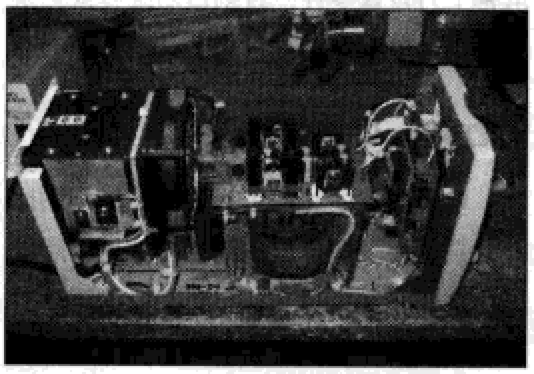


图39 组装效果

暂时写一个驱动DA的程序，测试一下模拟板，看看效果。

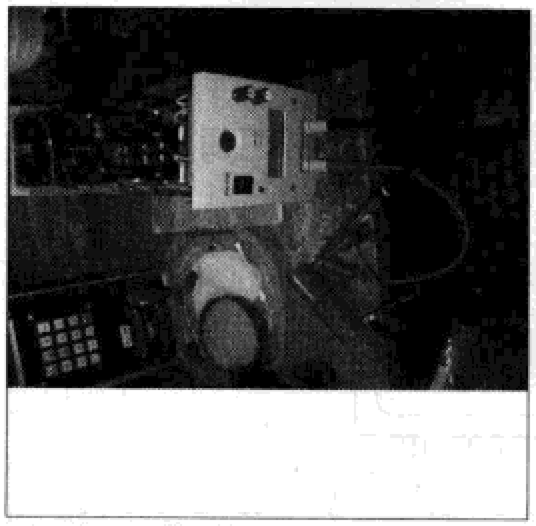


图40 实测电源使用情况

测试时，2A恒流状态下的5Ω负载纹波Vmax 在2~4mV之间跳动，这样的数据已是非常好了。

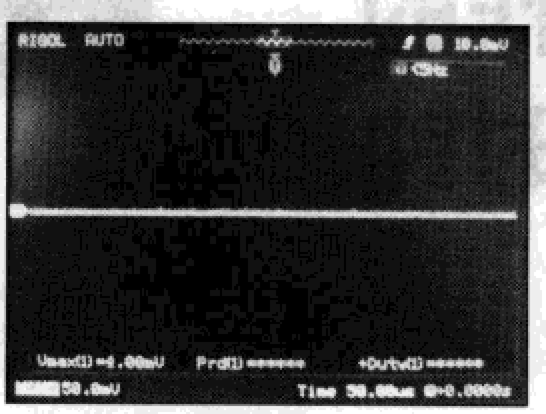


图41 初步测试时的负载纹波

进一步完善程序后进行测试，调节10.00V，输出在10.000~10.001V之间，并且用电吹风将整体加热到50℃左右，电压只漂末尾5个字的样子，也就是5mV。之后再设置成20V、3.5A 恒流（这时笔者体验到，旋转编码器确实好用）。再次优化程序，手感没有丝毫延迟，为了增加易用性，将设定值存入EEPROM，下次开机按OUTPUT，可直接输出上次关机前的设置的电压、电流。

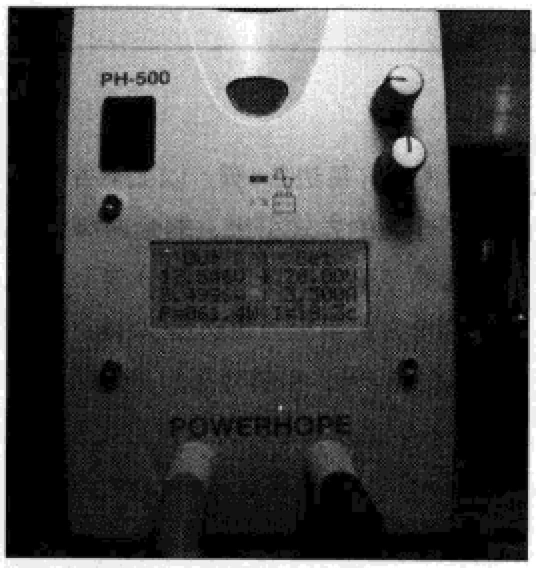


图42 运行界面

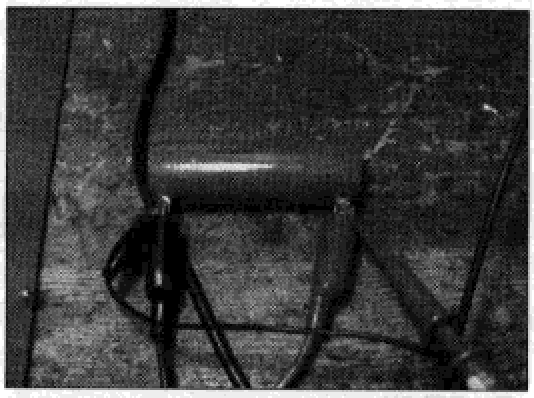


图43 测试中所用的5Ω/50W负载

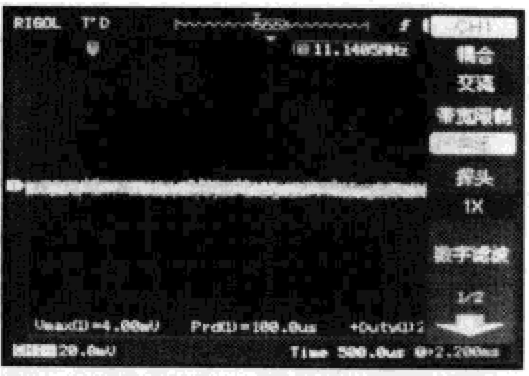


图44 完善程序后测试的负载纹波，4mV（Vmax）

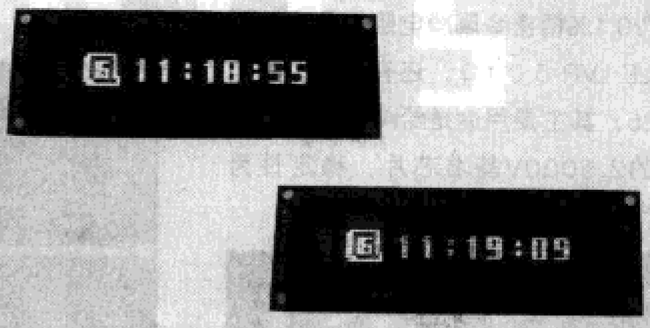
图45 测试电源输出情况

图42所示的就是运行界面，3.4996A输出，室温15℃左右，散热器温度最高到26℃的样子，效果非常好。测试中所用的是5Ω/50W负载，负载纹波4mV左右，达到了很好的效果。最后，笔者再次测试了一下输出情况，输出10.000V的电压，电压表上显示10.001V，十分令人满意。

之前在散热器上加入了温感IC，所以设定了一个超温限制，散热器温度超过60℃（比如说散热风扇故障，气流不畅通），那么机器就会自动切断电流、电压输出。由于现在还用不到远程监控数据功能，所以上位机程序还没有开发（后期准备用C++ BUILER），现在是每0.5s 发送一次本机电压、电流设定值，温度告警设定值，以及当前AD采集的电压、电流、功率、散热器温度值。

好啦，到这里，这个电源制作基本就算完成了，说一下完成之后的情况吧，整个电源长33cm，宽11cm，高17cm，全重6.5kg，性能基本达到了我的设计要求，还是比较满意的。

改进电路制作的点阵VFD屏时钟



◇张锋

本制作的特点

- ◆ 使用优质的全新三星DVD荧光显示屏，同时支持小图标、字符点阵显示；
- ◆ 进一步改进了VFD驱动电路，单5V供电，实现无变压器生成VFD所需的交流灯丝电压与负高压，符合VFD屏驱动规范，显示效果好；
- ◆ 采用全贴片零件制作，超薄、小巧；
- ◆ 电路分成屏幕驱动、电源驱动与单片机3个独立的部分，构成可组合又可分离的结构，有利于业余制作中重复利用其中的资源，驱动其他类型的VFD屏；
- ◆ 充分利用单片机内部资源，减少外围硬件；
- ◆ 完全由单片机软件独立完成整屏的扫描工作，软件功能中实现了多种刷新与转场效果，动态效果佳。

笔者这次的时钟制作采用了DVD类设备常用的VFD显示屏，型号为SAMSUNG SSVD HUV-13SS16T，显示色为绿色。此屏包含多个显示区域，显示资源丰富。屏幕显示区包含一个10×9全点阵区以及8个5×7字符点阵区，同时在双字符中间包含点号及冒号资源。点阵区可显示小尺寸动画、图标等，字符点阵区可用来显示英文字母、数字和标点以及一些简单的汉字点阵，点号及冒号可用于时钟及小数点的显示，通用性强，屏幕的引脚结构为上下两排对称引脚，屏内点阵也是上下居中对称，所以屏的安装方向可根据实际需要自行确定。这款屏属通用VFD显示屏，可应用到很多不同的领域中。

全屏实际总引脚数为60脚，其中37脚为阳极脚位P1~P37，还有13个栅极脚位1G~13G，灯丝脚位总共8脚，分别位于屏幕两侧，每边各4脚，以上下各两脚且互相连通的方式引出，剩余两脚为内部连通的空脚位。所有引脚分成上下对称的两排方式引出，每边各30脚，引脚间距为2.54mm，引脚外形为一体化扁平引脚。在以上规格中，尤其需要注意扁平引脚这一点，如果想使用普通的2.54mm排座作为插座安装此VFD屏，通过实际测试表明，引脚与排插之间无法确保稳定接触，通常都会产生接触不良，影响显示效果，所以此VFD屏建议直接焊接到PCB上，以确保稳定的电气连接。

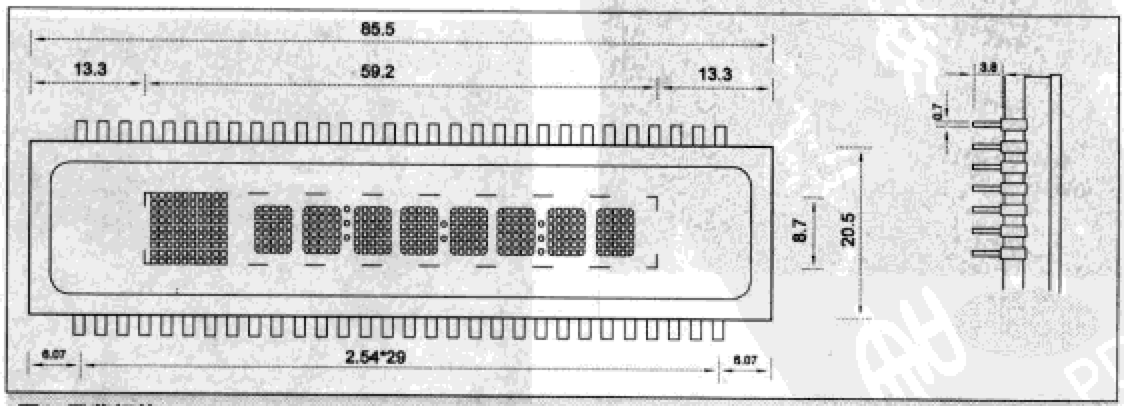


图1 屏幕规格

在设计PCB时，也应该考虑到此屏的引脚是以上下两排方式排列，尽量不要在屏幕下方设置零件，否则日后维修或更换零件会比较困难。

VFD屏驱动的硬件选择

笔者采用的这款荧光屏的扫描周期比较复杂，属于非标准的动态扫描屏，所以无法选用常见的通用VFD动态扫描驱动芯片完成扫描工作，必须使用专用电路或使用通用高压驱动电路配合单片机完成扫描工作。本制作选择使用后一种方案，即使用高压驱动电路与单片机配合，以软件方式完成扫描驱动。

在高压驱动电路的选型中有两种选择，一种是使用正高压进行驱动，另外一

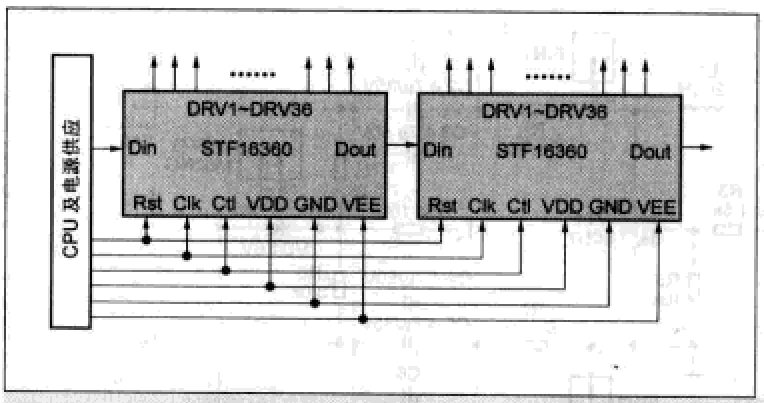


图2 STF16360两片级联

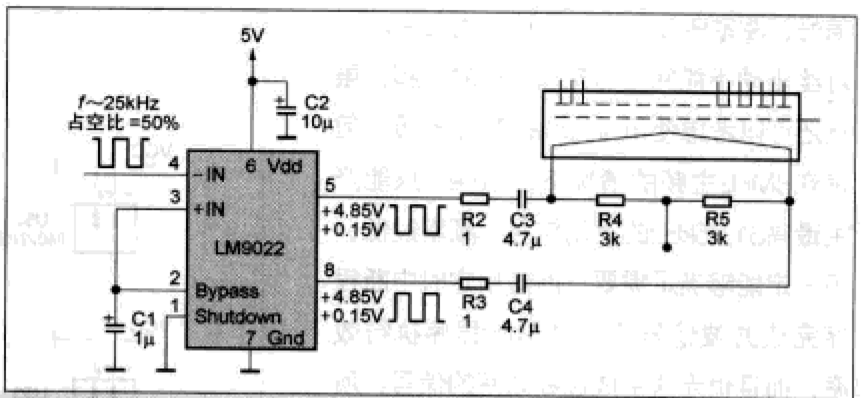


图3 LM9022专用驱动电路

种是使用负高压进行驱动。使用正高压进行驱动的优点是正高压生成比较容易，可以使用Boost通用升压电路，硬件价格低廉，缺点是需要选择对应的正高压驱动芯片进行驱动。本制作使用的VFD屏总共包含37个笔段与13栅极，总计需要40个驱动脚，通常可以选择PT6306芯片配套进行驱动。PT6306是普城科技生产的高压串入并出移位寄存器，它的特点是具备64个输出引脚，最高支持+80V、50mA的高压驱动，非常适合作为VFD的驱动芯片。通过市场采购的实际情况来看，PT6306不仅不容易买到，而且零售价格很高，如果使用这一方案，会大大增加制作成本。同时市场上其他同类正高压驱动芯片也基本都是价高且不易购买，所以本制作最后决定使用负压型驱动方案，以降低成本。

负压型驱动VFD的专用电路目前的最优选择依旧是STF16360，最高支持-30V电压，符合此屏幕所需的驱动要求。但是一片STF16360仅提供了36段驱动输出，而驱动此屏需要40段驱动输出，单片无法满足驱动需求，最后决定采用的驱动方案是使用两片STF16360进行级联。

STF16360应用结构比较简单，可直接视为支持负高压输出的串并转换电路，所以这样的电路很容易进行级联使用。除了并联供电引脚外（包括VDD、GND、VEE），在数据传输层上还需要将两片电路的复位Reset、时钟Clk、控制Ctl这3个引脚并联起来，同时将第一片电路的数据输出引脚Dout连接到下一片电路的数据输入引脚Din端即可完成数据的传递工作。如需级联更多的芯片，也按同样操作即可。具体连接方式如图2所示。

本制作所使用的单片机依旧选择了型号为ATMega8的8位处理器芯片。在本制作中，为节约成本，减少外围元件数量，灯丝驱动信号、高压PWM信号、动态扫描、时钟计时等大部分工作都通过单片机完成。实际上，随着技术的发展，更多更优秀的8位单片机不断涌现，只要资源满足本制作的需要，读者也可以选择自己熟悉的不同类型的单片机进行开发。

关于驱动电路的考虑

本制作的驱动电路本想采用原先已有的驱动方案，此电路方案详见《无线电》2012第7期——《自制米字荧光屏时钟》。本文只做一个简单的说明：典型驱动电路中的灯丝驱动部分采用L9110S电机驱动作为H-Bridge，生成交流方波，交流方波通过两个电容耦合后连接到灯丝上，完成灯丝交流驱动并实现与高压部分的隔离。这个驱动电路的缺点在于L9110S芯片效率低、压降过高，会出现一定程度的发热现象，同时电路中的H-Bridge驱动方波由单片机以软件方式生成3~10kHz的低频驱动信号，频率落在音频范围内，容易使灯丝产生可听见的高频音，影响实际使用效果。在尝试用此类型电路驱动三星VFD屏时就出现了这样的问题，经过反复调整驱动频率，灯丝一直产生明显的振荡音，无法完全消除，所以笔者需要考虑升级原有的驱动电路。

消除灯丝振荡音的关键点在于如何提高或降低灯丝的驱动频率，将其设置到人可感知的音频范围以外，降低驱动频率是一个选择，也更容易做到，但是降低驱动频率会产生两个主要问题：一来可能出现闪烁现象，二来需要使用大容量的耦合电容，体积大，且增加制作成本。另外一个选项是提高驱动频率，提高驱动频率的优点是当频率达到合适的程度时，可以使用小尺寸的小容量层叠电容进行耦合隔离，大大减小元件尺寸。

AT Mega8单片机的定时器Timer1可以很容易地使用“相位频率可调PWM模式”，生成两路相同/互补的桥驱动信号，且驱动信号的相位和占空比都可调整，只要两路信号的占空比小于50%，中间间隔的时间区域就可以作为死区时间，以防止桥臂发生短路。

使用以上方法，在实际测试中也会遇到一些问题。使用Timer1定时器可以生成高频的桥驱动信号，但是由于这里使用L9110S固定芯片进行驱动，无法对其内部的三极管的开关速度进行控制，且对于普通三极管而言，实际应用中应至少设置2μs的死区时间，这一时间区域对于低频信号宽度而言所占的比例很小，不会产生多大的影响，但是对于高频信号，如100kHz的信号来说，其在信号周期中所占的比例就很大了，会直接影响到能量传递的效率。同时考虑到原电路中还需要使用定时器Timer1的快速PWM生成高频驱动

信号，驱动Buck-Boost电路产生负高压。灯丝驱动不能完全占用Timer1的引脚，虽然还可以考虑使用Timer2的PWM资源，但是在8MHz主频的情况下，Timer2只能产生最高31.25kHz的驱动信号，频率过低，不一定能够满足需要。而使用定时中断程序完成方波信号不仅会影响程序执行效率，而且也无法生成过高频率的信号，所以如何解决这一驱动问题成为本制作一个关键问题。

最简单的解决办法就是更换单片机，使用具备更多资源的单片机来取代Mega8。很多新型的单片机的内部资源丰富，如使用带有死区可调的互补驱动器的单片机，可以直接解决上面的问题。但是更换单片机会产生其他的一系列问题，比如增加成本，花费更多时间熟悉新型单片机，甚至可能需要重新购买开发板、编程器等设备。所以本制作也放弃了这一方法。

另外一个方法是考虑使用单脚输出的PWM高频信号驱动电路取代原来需要双脚互补信号驱动的灯丝电路，以节约PWM资源。本制作最后选择了这一方法来解决灯丝高频驱动的问题。

无奈放弃的LM9022灯丝驱动电路

单脚PWM信号产生灯丝驱动交流电压的一个方法是使用VFD灯丝专用驱动芯片LM9022来构成灯丝驱动电路。LM9022是美国国家半导体生产的专用于VFD灯丝驱动的芯片，SO8封装，典型工作电压为5V，可提供最高2W的驱动功率，内部使用桥式输出结构，输出电压范围为0.15~4.85V，驱动电路压降典型值为0.4~0.6V，电路工作效率高。LM9022的典型应用电路如图3所示，从电路中可见，除了10μF的退耦电容外，LM9022外部仅需添加一个1μF的电容即可工作，典型应用电路仅需从外部提供一路高频驱动方波，即可生成灯丝驱动电压，无需考虑死区时间等参数，驱动简单。

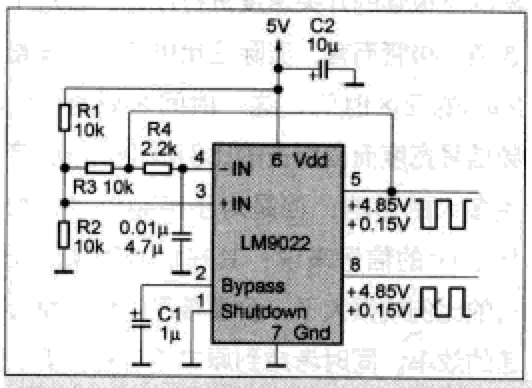


图4 LM9022自振荡应用电路

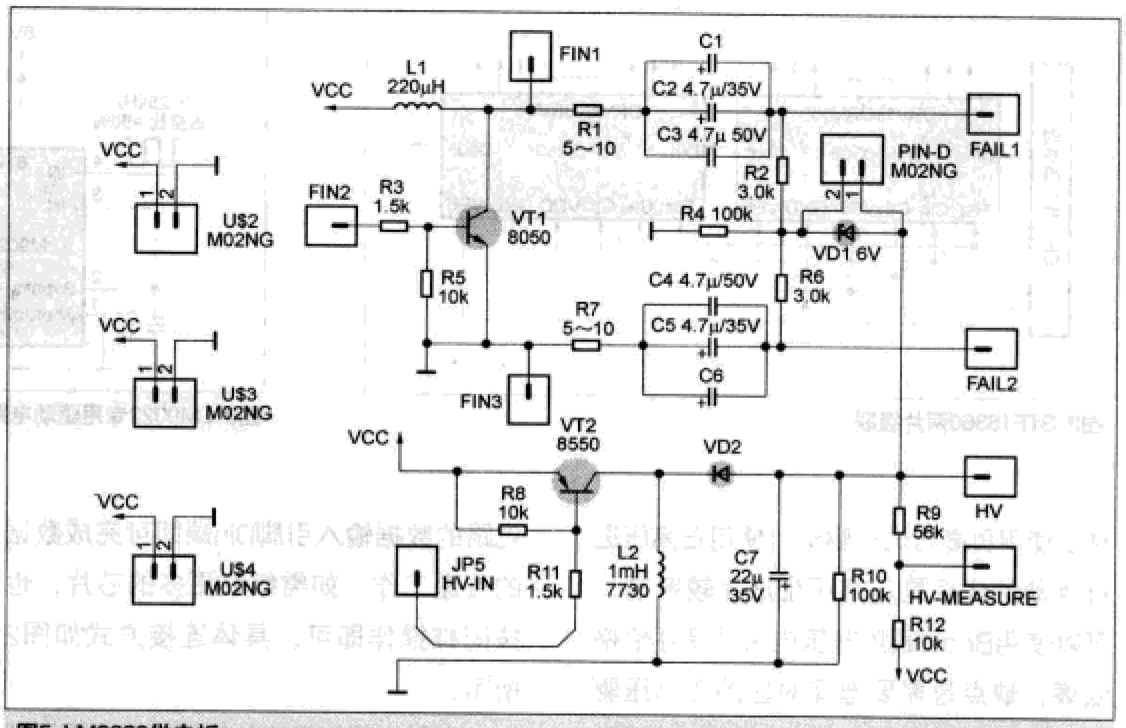


图5 LM9022供电板

同时LM9022也支持自振荡模式，在外部电路中添加4个电阻与1个0.01μF的电容，即可完成，无需外部提供专门的高频驱动信号。

考虑到AT Mega8可提供高频率驱动信号，实际采用的方案依旧使用AT Mega8的Timer1中的一脚生成100~200kHz的驱动信号直接驱动LM9022。耦合电容采用4.7μF/50V的层叠电容。实际制作的试验电路板如图5所示，电路板上耦合电容部分设置了插座，可以插入不同容量的电容进行耦合测试，电路板的下半部分为负压Buck-Boost部分。

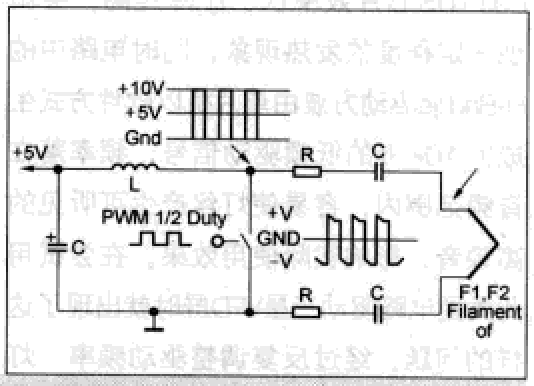


图6 单驱动灯丝电压生成电路原理图

试验结果表明，使用LM9022构成灯丝驱动电路，具有工作稳定、驱动效率高、可使用单一信号驱动、节约单片机资源的优点，但经过实际采购又出现了问题。在试验板上使用的LM9022芯片是去年购买的几片样片，当时价格较低，按此采购价格，使用LM9022替换原电路中的驱动部分，整体成本仅增加几元而已，但是德州仪器收购美国国家半导体以后，LM9022芯片已停止生产，且市场上也未见可兼容芯片。随着LM9022数量的逐日减少，价格也一路飙升，目前的零售市场不仅不容易采购到这一芯片，而且即使是拆机芯片，价格也很高，所以使用LM9022驱动的方案暂时搁浅，需要考虑更换另一类型的驱动电路进行取代。

最终采用了单端驱动的DC/AC转换电路

通过多次试验，最后确定并被实际采用的灯丝驱动电路方案是——单端驱动的DC/AC转换电路。它是利用Boost Converter升压变换电路的前半部分，通过

可调整的PWM信号，先将电压升到所需输出的交流电压的两倍的方波信号，然后通过电容的耦合，以获得符合条件的交流方波电压。

使用这一电路存在的一个问题是，驱动灯丝所需要的是标准的方波信号，要求方波的正端宽度与负端宽度相同，这就使得输入的PWM信号的占空比必须是50%，但是固定PWM的占空比为50%，会导致电路中输出的电压值也被固定下来（理想状态下的输出电压Vout=2×Vin），无法通过调节PWM占空比的方法进行灵活调节。考虑到电路的供电电压是5V，如果专门为DC/AC转换电路增加一个降压电路，会使电路复杂化、降低工作效率，且导致成本增加，所以最后考虑采取的方案是按照1/2占空比进行驱动，通过调整电路中的PWM频率、电阻R以及C的值，使最后生成的平均电压V（rms）符合灯丝驱动需要的电压范围。在实际应用电路中，PWM驱动频率为200kHz，电阻R值可选择为5~10Ω，隔离电容C选择使用的是表贴的4.7μF/50V层叠电容，体积小。

电路中的电感应选择大于100μH的，考虑到电路频率可能会有所偏移，在满足电路工作电流的情况下，尽可能选择电感量稍高的电感。实际测试中使用与负压电路同规格的1mH/7730封装的电感，因发现其工作电流仅为0.12A，长时间使用后会出现轻微的发热现象，最后更换成容量为150μH的SAGAMI贴片绕线功率电感（尺寸6mm×6mm×3mm，电流0.33A），实测电路长时间稳定工作无发热。如还需降低所需的电感量（同尺寸规格电感，电感量低的过电流能力强），则对应的PWM驱动频率应该随之增加。受到所使用单片机速度的限制，实际PWM工作频率一般都在300kHz以下，更高的工作频率会导致PWM可调节性变差，不建议使用。

PWM信号还必须考虑到虽然输出的是1/2占空比的方波，但不代表通过驱动

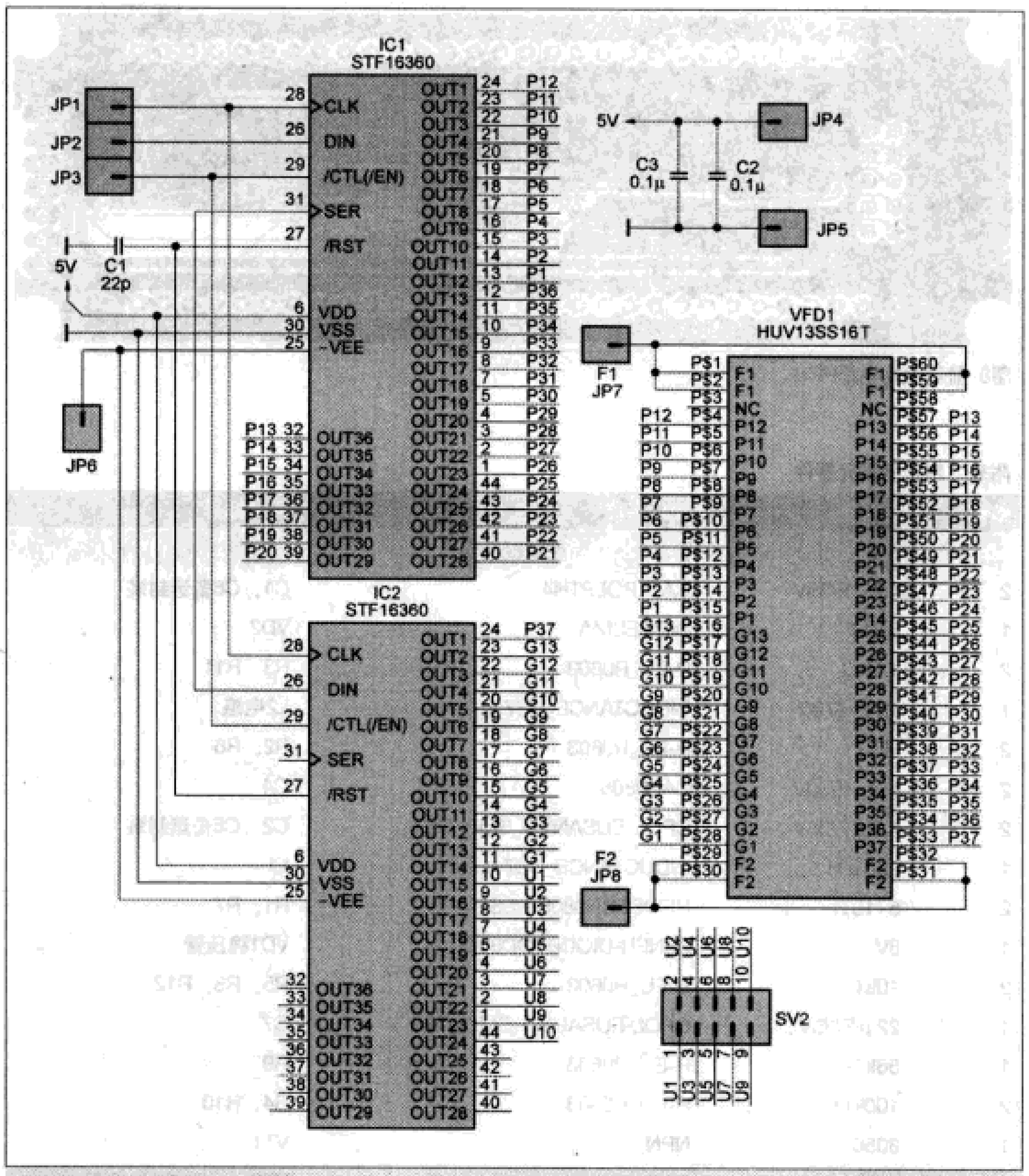


图7 显示驱动电路

三极管后的实际电路输出也一定是1/2占空比的波形，应考虑三极管的开关延迟以及耦合电容的充放电特性，在软件中做少量的补偿调整，以确保正确的对称输出波形。大部分情况下，在确保灯丝两端的驱动方波正负周期相等后，方波的正负最高值会有±10%左右的差异，这一差异不会影响VFD灯丝的驱动。

负压供电部分保留原有的Buck-Boost驱动电路，且其中的1mH电感无需更换。因为虽然将驱动频率增加到了200kHz，为保持输出的负压保有同样的电流波动率，电感量可降到400~500μH，但是这一规格的电感不易购买。如将电感减低到220μH，由于负压输出的是小电流应用，使用过小容量的电感易使电路出现工作不稳、电流波动率过大、电感发热等现象，所以此处保留原负压电路中的原电感规格。

实际测试结果表明，当输出的负压达到-20V左右时，屏幕显示效果已经很明亮了，且随着显示的变化，负压的漂移范围在±1V左右，不影响显示效果。当然，此屏最高eb、ec电压为32V，此电压已经很接近STF16360的极限驱动电压-30V，且负压生成电路中采用无反馈方法，无过压保护电路。当设置过大的负压时，为防止出现电压过高而导致损坏STF16360的情况，应在负压的输出端串联一个限流电阻，并且并联一个30V稳压管，以起到简单的过压保护作用。

“截止偏压”等部分的电路与原驱动

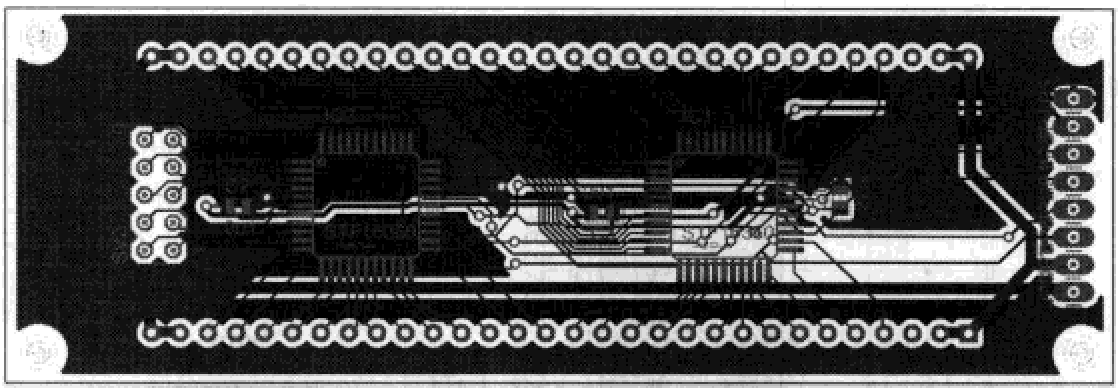


图8 显示驱动电路PCB

附表 制作所需元器件

数量	元件值	元件名称	元件标号
		电源板元件	
2	4.7μF/35V	CAP_POLPTH4	C1、C6备选封装
1	SS14	DIODESMA	VD2
2	1.5kΩ	R-EU_R0603	R3、R11
1	1mH/7730	INDUCTANCE_US7*7	L2电感
2	3kΩ	R-EU_R0603	R2、R6
2	4.7μF/50V	CAP0805	C4
2	4.7μF/35V	CPOL-EUSANYO_SMD_C6	C2、C5备选封装
1	220μH	INDUCTANCE_US7×7	L1
2	5~10Ω	RESISTOR0805-RES	R1、R7
1	6V	ZENER-DIODESOD80C	VD1稳压管
3	10kΩ	R-EU_R0603	R5、R8、R12
1	22μF/35V	CPOL-EUSANYO_SMD_C6	C7
1	56kΩ	R-EU_R0603	R9
2	100kΩ	R-EU_R0603	R4、R10
1	8050	NPN	VT1
1	8550	PNP	VT2
1	JP5	M01PTH_LONGPAD	HV-IN
		显示板元件	
1	MA05-2	5×2双排针	SV2
2	0.1μF	C-EUC0805	C2、C3
1	22pF	C-EUC0805	C1
1	HUV13SS16T	HUV13SS16T 显示屏	VFD1
2	STF16360	STF16360 负压驱动芯片	IC1、IC2

电路一致，即使用稳压二极管串联限流电阻连接到灯丝两端，由两个3kΩ的电阻串联后的中间位置处的简单电路来实现，有必要的话，可在稳压管上并联一个小容量的电解电容来增加稳定性。

完成了驱动电压生成后，VFD驱动电路最困难的部分就已经解决了。而显示驱动部分的电路则直接使用两片串联的STF16360负责所有笔段与栅极的驱动，单片机通过串行数据通路与串联的STF16360连接，在每个显示周期将合适的显示数据逐位输送给STF16360，最后进行锁存显示。由于此屏的驱动信号比较复杂，最后软件层上转换工作也会比较复杂一些。

安装调试

由于本制作使用的是3片独立的分立PCB，所以安装调试工作比较简单，其中单片机部分直接使用现成购买的AT Mega8最小开发板，这部分无需焊接与调试，只需要使用杜邦线连接板上插针后，与其他线路板连接即可。

显示屏部分为双面PCB，板的正面安装VFD显示屏，板的背面安装两片STF16360及配套的退耦与复位电容，通过PCB边缘的排针与外部电路连接，整板元件相当简洁，焊接也很容易，见图9。就是VFD屏引脚比较多，插入PCB焊孔时要耐心一些，建议先插入一排引脚，另一排引脚插入时使用尖头镊子协助插入。

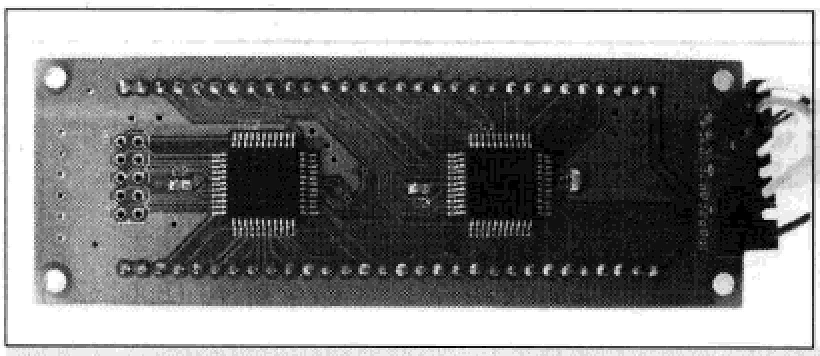
显示屏PCB焊接时可自行决定焊接顺序，由于是屏与零件分两面单独放置，屏幕下无任何零件，所以即使芯片焊接出现问题，也很容易进行修复。

电压供应板为单面PCB，可在业余条件下自制，板上提供了灯丝以及负压部分的电路。驱动输入部分与单片机板连接，输出部分与显示屏板连接，电路板的设计中考虑到将其作为通用测试板，板上设置了一些便于调试与更换测试零件的测试插孔位，可用于其他类型VFD屏的驱动，见图10。

软件设计

本制作使用默认的左点阵右字符设置，设计中将位于屏幕左方的小点阵区域用来显示星期等小图标信息，位于屏右侧的字符点阵区域则设计成文字及数字显示区域，配合其中的冒号等资源构成时钟信息显示区及用于设置信息的显示。软件设计的主要工作集中在显示部分，时钟部分与传统的时钟代码没有什么本质的区别，就不再详细说明，这里重点谈一下显示部分的软件结构。

软件设计中使用中断服务程序与主程序配合，完成VFD显示的扫描工作。中断服务程序的主要任务是：将多个中断周期视为一个扫描段的周期，在一个扫描段中期的不同时间点上，中断服务程序完成相应的代码功能。例如在当前段的显示开始阶段将段显示数据送出到STF16360并锁



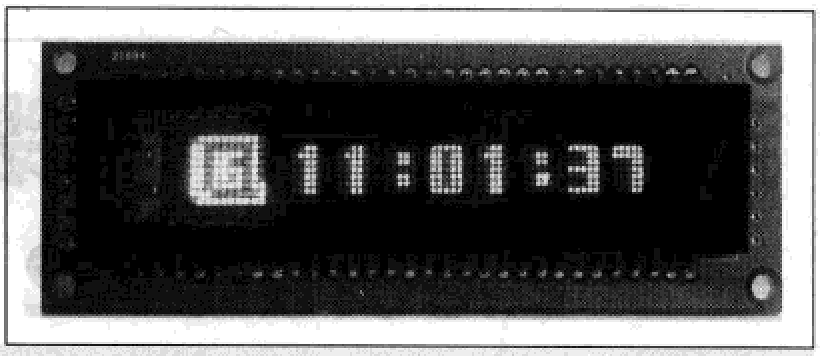


图9 实际制作完成的PCB

存，同时为了防止在扫描过程中各段之间产生相互干扰，在扫描段中设置了一定长度的消隐时间。在这一时间内，中断服务程序将清空STF16360数据并锁存。

主程序使用一个大循环完成如键盘状态读取、当前显示状态表示等一系列工作，在主程序中设置了3个全局的内存区作为内部显示VRAM区域，其中的小点阵区使用标准的从左到右、从上到下的顺序排列内存规划，而字符点阵区域考虑到是5×8点阵的区域结构，使用的是从下到上且从左到右、逆时钟转90°的内存排列方案，目的是节约显示内存，并且方便字符数据复制到字符显示区内存，点号及冒号区域使用单一的全局变量来表示，如图11所示。

内部显示VRAM区中的全局点阵数据并不能够直接表现在VFD屏幕上，这之间需要一个翻译的过程，即将内部VRAM的点阵数据转换成可以输送到STF16360串中的显示数据，笔者采用的是双缓冲方案进行处理。所谓双缓冲方案，即在内存区域中开辟出两个相同尺寸的包含将VRAM解析为STF16360数据的缓冲区域，其中一个称为主数据区，另外一个为显示数据区。显示数据区由中断扫描程序使用，中断扫描程序每次读取显示数据区内的数据直接发送给STF16360，而将VRAM内容进行转换的工作则由主程序调用。当主程序判断当前显示内容需要更新时，其将调用解析函数，将VRAM内容先转换到主数据区内，转换完成后设置一个全局的更新标志，当中断扫描程序发现全局更新标志被置位时，利用扫描周期中的空余时间将主数据区内的数据复制到显示数据区内，并清除全局更新标志。由于所需复制的数据很少，可以在极短的时间内完成，不影响扫描中断服务程序的进行，也就不会影响实际显示效果。通过实际应用，此方法大大提高了显示效率，屏幕刷新显示稳定、无闪烁。

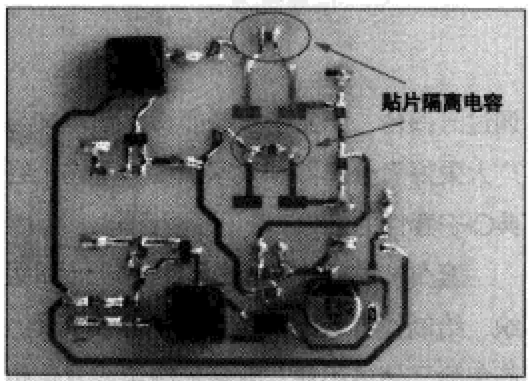


图10 电压供应电路PCB

■ 本文相关程序及电路可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

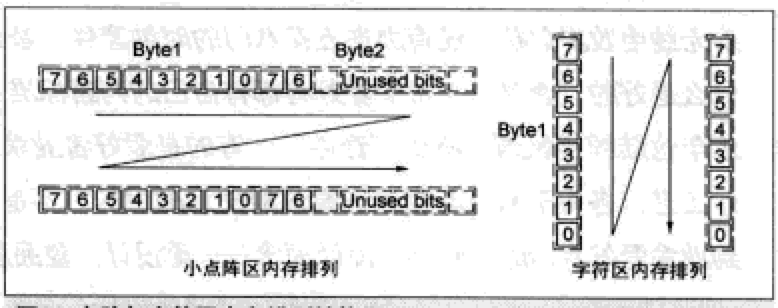


图11 点阵与字符区内存排列结构图

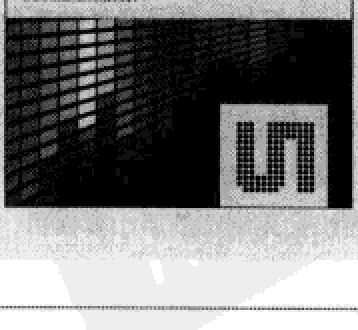
制作总结

本制作对旧有的VFD驱动电路做了进一步的改进，支持只使用单片机的一个引脚输出的高频方波信号生成灯丝驱动电压，解决了旧有电路频率范围受限的问题。同时由于可输出100kHz以上的频率，可使用小容量的隔离电容，进一步减小了所使用的电容元件的尺寸，且整体元件成本基本保持原样。由于电子爱好者手中的VFD屏可能有各种型号，本文介绍的设计及制作方法或许并不能解决所有的问题，但对此有兴趣的读者可以根据此设计思路的启发，制作出适合自己应用的驱动电路。

新品介绍

奥地利微电子发布新款智能LED驱动芯片AS3661

新款智能LED驱动芯片AS3661可控制多达9个LED，可为移动设备带来精致的指示灯光效果，并可独立于耗电的基带处理器工作。AS3661具有3个程序执行引擎，可根据功能进行分组，形成3个独立的可编程LED组。同时AS3661的设计包含了多种节电功能。每个通道以小于50mV的压差运作，由能自动切换1:1和1:1.5模式的高效150mA充电泵供电。而且，当LED无输出时可自动进入节能模式，仅消耗10μA电流（典型值）。



那些年我们一起装过的套件——Elecraft K2

◇荣新华（BD6CR/4）

电子爱好者对“套件”这个词应该非常熟悉，从两三个元器件组成的发光、发声套件，到可以完成全球短波通联的复杂无线电收发信机，还有那些五花八门的时钟套件、音频套件……“套件”为实践派爱好者的DIY需求提供了丰富的选择。什么是好的“套件”，每个爱好者都有自己的判断标准：容易制作？功能实用？性能稳定?比成品性价比高？……本刊编辑近年也陆续接触到了不少“套件”，有的是爱好者业余时间推出的，有的是专业的公司或工作室推出的，从设计理念到制作工艺，各有千秋。与读者分享这篇文章的目的，不是因为它贵所以它好，而是让我们从一个专业产品级的套件身上，看到业余爱好者们的“套件”设计理念——重设计、重品质、更重人性化的体验。

大洋彼岸的北加州是硅谷的所在地，那里因为汇聚了许多技术精英和技术公司而闻名于海内外。成立于1993年的北加州QRP俱乐部（NorCal QRP Club，http://norcalqrp.org）同样非常出名，因为这个俱乐部曾经推出了由Wayne Burdick(N6KR)设计的一系列著名的套件，包括NorCal 40、49er和Sierra。也许正是因为俱乐部套件取得的极大成功，促使N6KR和Eric Swartz（WA6HHQ）在1998年创立了专做业余无线电套件的Elecraft公司（http://elecraft.com），创立至今的十多年中，先后推出了K1、KX1、K2、K3和最新的KX3等业余无线电套件产品，赢得了全美乃至全世界爱好者的关注和好评。K2是Elecraft最为成功的套件之一，尽管它有着相当复杂的制作和调试过程，但是在推出的10多年中，全球销量接近1万套，堪称经典之作。另外，由于从K3起，Elecraft开始走成品套件的商业形式，K2也可能成为Elecraft历史上从元件开始组装的套件的封山之作。中国的QRP和制作爱好者从一开始就关注和讨论K2，但是真正有机会见到它的庐山真面目，已经是多年以后了。原因很多，首先业余无线电器材很不容易进国门，其次，虽然K2有详细的安装手册，但是能真正读懂这本大部头手册的国内爱好者寥寥无几。根据不完全统计，目前国内爱好者手里的K2保有量大概只有十来台，而完全靠自己安装并调试好此套件的仅有一半左右。笔者有幸在近两年安装了一台，并帮助其他爱好者校调过三四台，积累了一些心得，借本文与广大爱好者分享并和大家重温一下这个经典QRP套件的魅力。

工作台上的K2

套件提供商通过对套件的设计和组织，给制作者带来了纯粹的乐趣和享受，而免除了诸多不便。业余无线电收发信机的成功与否有3个关键因素：一是设计，二是套件组织，三是售后服务。

设计思路

电路设计

◆ 减少复杂电路元器件的使用数量

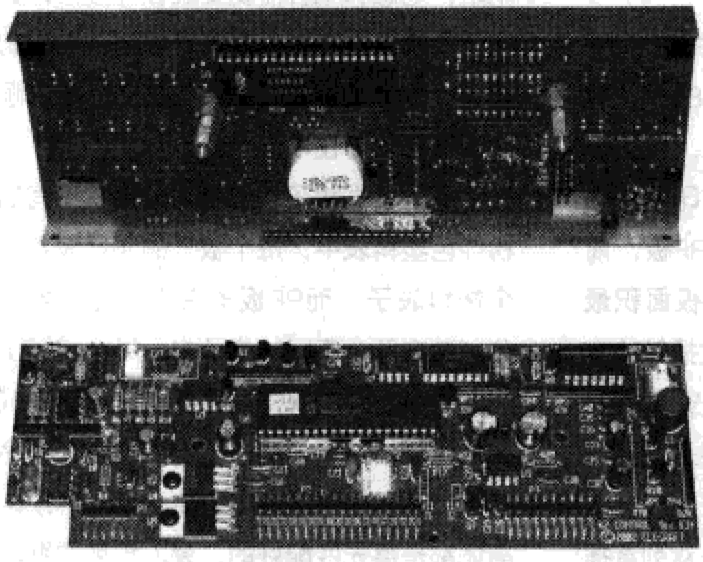
由于业余无线电电路的成熟，套件的设计并不是完全的创新，更多的是一种取舍。针对套件的特点，K2在电路结构上选择了一次变频的低中频电路，而非两次或三次变频。虽然这容易存在镜像干扰和啸叫点，却可以明显减少元件数量，从而提高制作成功率。另外，为了进一步减少元件数量，它采用了临近波段的滤波器，通过继电器切换电容而共用滤波器电感的方式，减少了过多磁环绕制的麻烦，也有效减少了印制板面积。

◆ 大量应用单片机

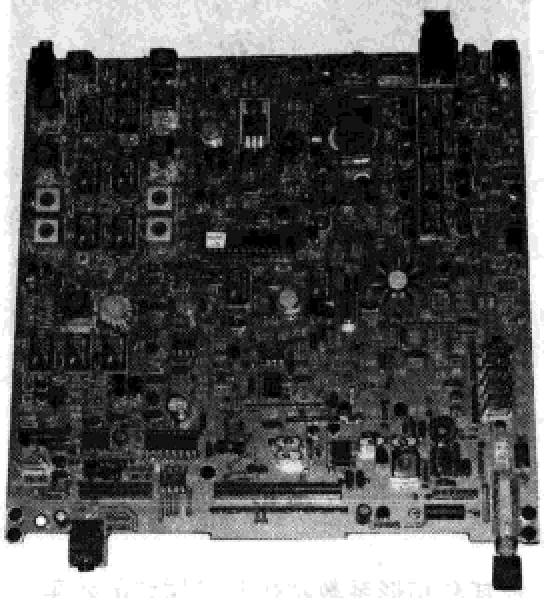
电路设计的另外一个特点是大量应用了Microchip公司的PIC系列单片机，不仅作为电台基本控制之用，也集成了电流电压测量、频率测量等功能，帮助缺乏仪器的爱好者完成套件的组装。单片机加数模转换芯片的应用也补偿了一些传统模拟电路设计的不足，比如PLL的频率参考，K2采用了可变频率振荡器VXO，做到了小步进。但是大家都知道，VXO的频率对控制电压的线性非常不好，因此K2的校调需要做VFO线性校准，以便让单片机记住线性频率输出下的VXO控制电压。BFO也采取了单片机控制，因此可以方便地通过键盘和频率大波轮进行调整。另外，单片机还对中频的晶体滤波器的带宽进行控制。

◆ 性能侧重不同

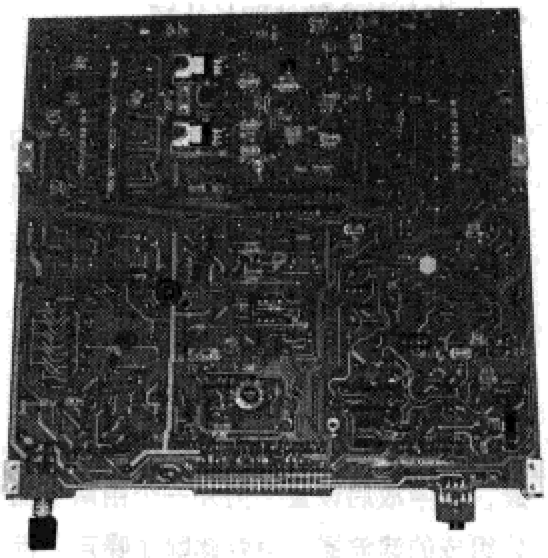
K2对性能上的关注是有侧重点的。首先，K2的前级设计超越了同价位的电台。天线进来的信号经过一个-10dB的可选衰减器，再经过一颗2N5109中功率管组成的可选+14dB高放，进入+7dBm平衡混频器TUF-1，之后跟随了一个2N5109组成的混频后放大器。这个放大器的偏置由一个MOSFET开关管控制，可使之工作在大电流状态下，以便做到高IP截止点。其次，可变带宽的4.9136MHz中频晶体滤波器使CW工作更加游刃有余。K2的可变带宽晶体滤波器设计也利用了单片机和数模转换器，对变容二极管偏压进行控制，从而改变梯形晶体滤波器的接地电容容量，达到控制带宽的目的。但是这种控制方法会使带通中心频率发生偏移，K2的解决方法是为每个滤波器带宽下的每种工作模式设置不同频率的差拍振荡器。K2可提供4组带宽进行选择。这种晶体滤波器并不适合SSB模式，因为变容二极管的参数差异可能导致带内波动大，而且这种滤波器的电路形式也并不是最佳形式，先天就有带内波动上的不足，因此，K2在SSB选件上采用了固定带宽的方式，设计了SSB专用的晶体滤波器。在严格的设计和元件参数保证下，K2在SSB晶体滤波器的带内波动、插入



显示板和控制板

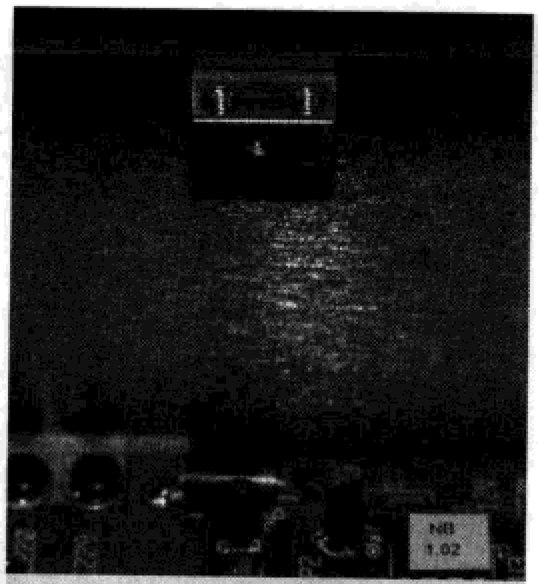


主板正面



主板反面

机箱内部



3D紧固件

损耗和矩形系数都达到了较好的水平，使SSB语音失真很小。

◆ 元器件与电路能取长补短

K2的中放采用了常见的MC1350，而解调器也采用了常常被诟病的NE602。如果不仔细看K2的电路，可能会因为这两颗元件的选用而认为K2的性能不良。的确，MC1350虽然电路简单，但是噪声较大。而NE602虽然简单，但是前级容易阻塞。但K2采取了一些措施进行改进。针对MC1350噪声较大的问题，在中放后设置了另外一个由两个晶体组成的滤波器，有效滤除了噪声。而经过仔细设计的由中频信号驱动的AGC电路，能保证进入NE602的信号不会达到饱和，从而让这两颗平淡无奇的元件也能发挥出良好的效果。

◆ 适当控制成本

K2的PLL和VCO设计是一个简单的设计，也应该是考虑到套件的特点，为了减少元件数量和成本。K2的PLL参考时钟是由VXO产生的，PLL芯片采用了一颗MC145170。如果参考时钟是固定的，K2是无法达到10Hz的调谐步进的。小步进的获得就是借由对VXO的控制达到的。VCO则是通过继电器来控制多个变容二极管的接入，然后用一个线圈覆盖全段。VCO后还有缓冲器和自动电平控制电路。即便如此，这个VCO还是很简陋的，相位噪声指标很普通，这就是为什么K2的本底噪声听起来不那么低的原因之一。VXO有两个问题，一个是线性，我们在上面已经谈过，另外一个是温度稳定性，为此，K2采用了温敏电阻补偿网络对温升造成的频率漂移进行有效的补偿。

K2发射部分的电路是常见的电路，用料上还是比较足的，分别是2N5109的预驱动，2SC2166的驱动和两颗2SC1969构成的功率放大电路。由于带通滤波器和低通滤波器采用了临近波段共用线圈的设计，我们在测试中发现，较高频率段的杂散指标并不能达标，这也许是这种设计的代价之一吧！

结构设计

K2（包括后来的K3）的外壳设计是很有特点的，虽然算不上非常理想，但是也能做到简洁美观，而且有足够的牢固程度。K2的外壳是用薄钢板折弯的。钢板之间的连接采用了一种叫做3D FASTENER的东西，锁3个螺丝就可以完成所有钢板之间的结合。钢板分成6件，分别是前面板一件，左右侧板各一件，上面板和后面板的上半部分一件，下面板后面部分和后面板的下半部分一件，下面板的前面部分独立一件。下面板的后面部分起到了功放的散热器的作用，为了避免功放的温度直接传导到本振和差拍振荡器，下面板特意分开成前后两部分，而且两部分之间有一条明显的缝隙。

K2的电路板结构是模块化的。主板最大，平放在下面板上。控制板和前面板一样大小，垂直分列于前部，与主板用插针和插座连接。主板和控制板上都留有插孔，可供各种选件板的安装。上面板上除了安装扬声器外，还可以安装内置电池组等模块。

K2的人机界面虽然不算豪华，但是比较友好。按钮均采用欧姆龙的大轻触按钮，按压力度适中。电位器非常顺滑，旋钮的设计很精细，特别是大频率波轮，内部有金属配重，加上羊毛垫片，使得调谐感觉上佳。S表部分和液晶显示部分均可以夜间操作。

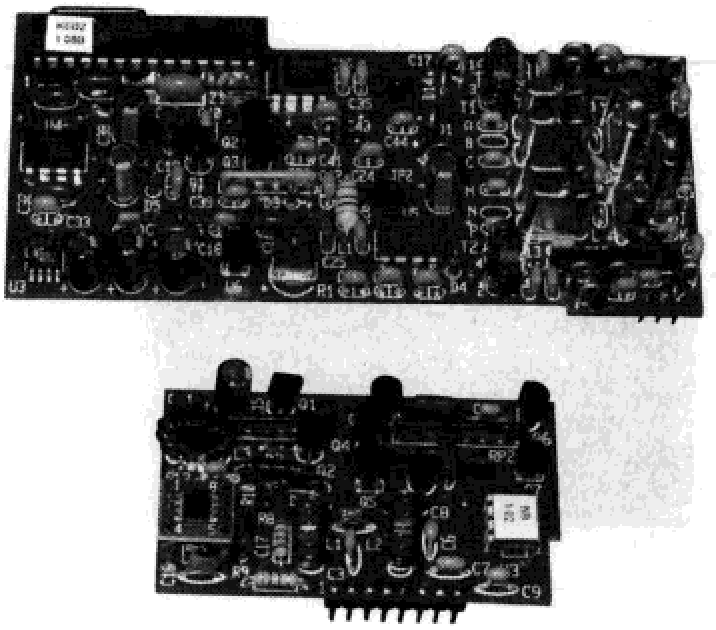
组合方式

我的K2套件是我去美国出差的时候购买的。除了10W CW基本套件以外，我还选择了SSB选件和NB选件。

K2套件的内包装是一个白色的纸盒，体积大约31cm×23cm×8cm，重量接近4kg，感觉挺真材实料的。事实也是如此，基本套件包括了3块空印制线路板，分别是前面板、控制板和RF板，前面板和控制板面积相同，而RF板面积最大，作为主板，其他板子都通过插针的方式插在RF板上。板子都是穿孔安装的，尽管现在贴片元件更加普遍，但是穿孔安装对于自制者来说的确更加方便。

有一些集成电路已经不再是双列直插封装怎么办？K2套件提供了将芯片预先贴片安装好的转换板，而我们只需要焊接一下插针即可。由于元件众多，所以一些电阻、电感和电容需要安装在焊接面，这些元件都在电路图中有符号标记，在印制线路板的焊接面也有清晰的丝印，所以顺利识别自然不在话下。

元件根据板子功能不同分装在不同的粉红色塑料袋中，每个板子的元件装入一个塑料袋子，而RF板子由于元件太多，分别装在两个不同的袋子中。每个袋子里的元件有一定的规律可循。首先电阻是成排的，严格按照说明书中电阻的安装顺序排列，所以省去了电阻阻值识别的麻烦。晶体都是事先匹配好的，装入黄色的纸袋中，并在纸袋外面标好了参数代号，以便

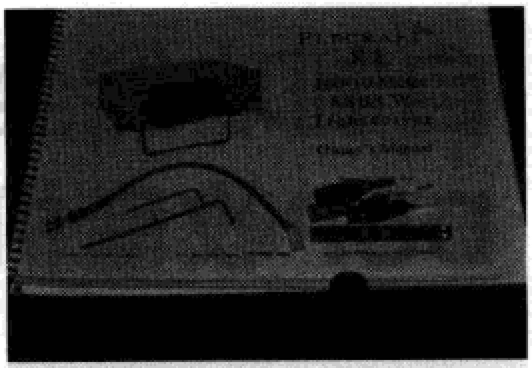


SSB选件和NB选件

调试的时候参考。一些数量较多的电容，如104、103和102，均以黄色纸袋单独包装，避免和其他电容混在一起。集成电路和一些容易静电击穿的场效应管等都插在一个大大的防静电泡沫棉上。RF板子的两个元件袋也各有分工，由于电容较多，一个袋子只装100pF以下容量的，而另外一个袋子只装100pF或以上容量的。这一切都是为了给安装者提供方便，减少人为错误，同时也降低了售后服务的成本。

外壳是由金属片折弯加工的，一共分为6片，每片都用纸包好，避免表面刮伤。一个杂项袋中包括了五金件、绕磁环用的红绿两种颜色的漆包线、各种导线、简单的测试工具和夹具等。K2套件非常贴心，提供了塑料无感螺丝刀，用于调节中周线圈磁芯和微调电容等，还提供了各种小仪器的简易套件，包括高频探头、频率计探针等，还有两个一大一小的内六角工具，甚至还发现了一张砂纸。一个中国台湾产的3W的扬声器装在一个白色的小盒内。SSB选件和NB选件则各有一个塑料袋子。

最后要说的是安装手册。安装手册为A4幅面双面印刷，厚度约13mm，图文并茂地详细介绍了安装的过程，提供了丰富的资料，简直是一本生产线上的作业指导书。的确如此，因为这本安装手册中说明了每个元件的安装步骤，详细到每个电阻、电容！虽然这个安装手册已经非常成熟，但是对于任何文档更新，它还提供了勘误页，力求做到准确无误。



详尽的说明书和实用小附件

售后服务

在我的套件安装和后来为其他朋友校调的过程中，有几次碰到自己无法解决的困难，发给Elecraft的工程师，通常第二天就能得到有效的回复，而且能不厌其烦地跟进到把问题解决掉。

我碰到的第一个问题是缺件。套件安装理应首先将元件分类并核对元件表，但是我一开始没有这么做，结果安装到一半才发现RF板上少了一包104的红色CB电容，于是发邮件去问Elecraft要，Elecraft二话没说直接把缺少的CB电容发到中国，继续安装下去的时候又发现，两个NE602被错放成其他8脚芯片了，这次我不好意思问Elecraft要了，自己找了两个换上。

在机器安装调试的过程中，我还碰到条形的显示器不亮的问题，怀疑了老半天，还写了邮件问Elecraft工程师，结果问题找出来，是因为没有按照说明书步骤设置AGC阈值和校准S表。

后来又因为显示频率偏大约200Hz和中频放大器调整的问题请教了Elecraft，均获得了有益的帮助。他们还教我使用音频频谱软件对中频带宽和差拍振荡器进行准确的调整，使我的K2接收效果达到了上佳。有感于Elecraft工程师对我提供的帮助，我也用自己学到的知识和经验帮助别人。先后帮助了其他几位爱好者校调了K2，均获得了满意的效果，通过帮助别人校调，自己对K2设计的精要也获得了进一步的认识。

总结

总体来说，国内的无线电类套件近几年已经取得了长足的进步，笔者认为可以简单分为几个时期：1992年前的敏感时期、1993～2000年的萌芽时期、2000～2015年的发展时期和预计2015年后的繁荣时期。敏感时期的特点是对合法性还存在疑惑，处在完全“地下”的状态，而1993年个人业余电台的开放则结束了这个时期。萌芽时期的特点则是从自己制作到方便别人制作，逐渐推出了一些或成功或失败的套件作品，设计者也不断从失败中积累经验教训。发展时期的开始要感谢互联网的普及和发展，特别是以HELLOCQ.NET论坛为代表的网上交流平台，大大促进了交流，套件的设计者逐渐获得成功，并吸引了更多的爱好者。在国内套件市场逐步热闹的同时，国产套件作品开始以代工的形式向国外出口。而套件和别的电子产品一样，一定会迎来从中国制造到中国设计的转变、中国的自有套件品牌走向世界并逐渐打开销路的繁荣时期。虽然愿景是美好的，但是受制于国内元件市场良莠不齐、低价同质化竞争、重功能不重质量、售后服务不完善和消费者购买力普遍还不高等现实因素，国内套件的成长之路仍然漫长。

◇刘作新

自制功能全面的DSP收音机

题图所示就是本次制作的DSP调频/调幅收音机，它的主要特点是：调频/调幅（中波）2波段接收，调频接收频率范围87~108MHz，中波接收频率范围522~1710kHz，自动搜索、存储电台，调频、调幅各可存储50个电台，32级电子音量控制，数码管显示电台频率、存储台位号、音量值，锂电池供电，可边充电边收听广播，可外接耳机收听调频立体声广播，立体声/单声道自动切换，上次收听状态（台位、音量）记忆功能。

单元电路分析

图1所示是这款收音机焊接完毕后的电路板。这款DSP收音机的电路如图2所示，电路由如下所述的6个子单元电路组成。

◆ DSP收音单元

这个单元负责调频/调幅广播信号的接收、解调、电子音量控制、音频信号的输出。除了没有音频功放外，收音机的全部功能都在这个单元完成。

本单元的核心元件是DSP收音机芯片BK1088。BK1088是全波段接收芯片，即调频/中波/短波/长波均可接收。本机只设置有两个接收频段——调频与中波。由于国内没有长波广播，所以本机没有设置长波波段。短波广播由于受电离层影响，信号不够稳定，再加之在当今钢筋水泥结构的建筑内短波信号衰减很大，短波收听效果不理想，所以本机也没有设置短波波段。

BK1088采用数字自动调谐技术，可以自动调节内部可变电容值，使得谐振电路在当前的工作频率下处于最佳谐振状态，从而简化了调幅广播接收天线的设计。中波磁性天线L1的电感量可在180~600μH之间选取。笔者用ϕ0.07mm×7的多股纱包线在4mm（厚）×6mm（高）×80mm（长）的矩形中波磁棒上绕制了150圈，实测电感量239μH，使用效果不错。调频接收天线W选用拉杆天线。图2中晶体振荡器B1选用精度为200×10^{-6}或优于200×10^{-6}的。

BK1088有两种封装，QFN封装与SOP16封装。如果将BK1088的外围元件与QFN封装的BK1088集中组装在一个小电路板上，就构成了DSP收音机模块。模块的尺寸只有11mm×11mm，参看图3，体积小巧。模块是一个独立的收音机单元，接上电源与控制信号即可工作，如果想缩短设计开发周期、提高生产效率、缩小产品体积、可以采用DSP收音机模块。SOP封装便于手工焊接，本收音机的PCB上有足够的面积安放BK1088的外围元件，所以在本次制作中选用了SOP封装的BK1088。

◆ 控制/显示单元

如果将DSP收音单元比作一部赛车，控制单元就是一位优秀的驾驶员。通过这位驾驶员合理的驾控赛车，能使DSP收音单元发挥出最佳性能。控制单元的核心元件是IC2，低压版的MCU——STC12LE5A60S2。STC12LE5A60S2的工作电压范围是2.2~3.6V，保证单节锂电供电时可以正常工作。控制单元要完成以下任务。

1. 对BK1088、24C02进行控制。通过IC2的P3.1、P3.2口实现与BK1088、24C02的I²C通信，从而实现自动搜/存台、音量调整、立体声/单声道切换以及换台操作等。

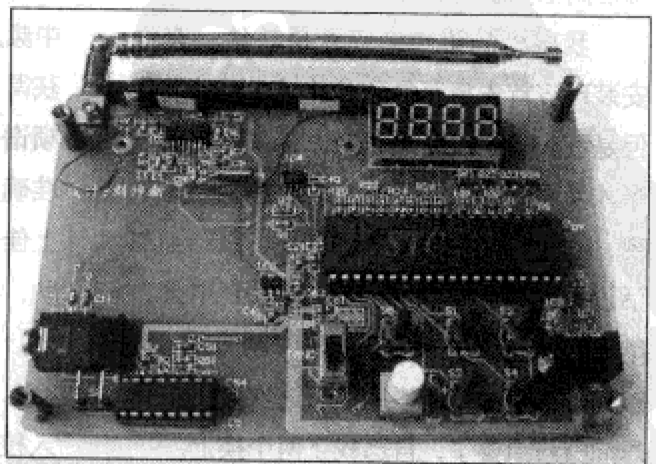


图1 焊接完毕的电路板

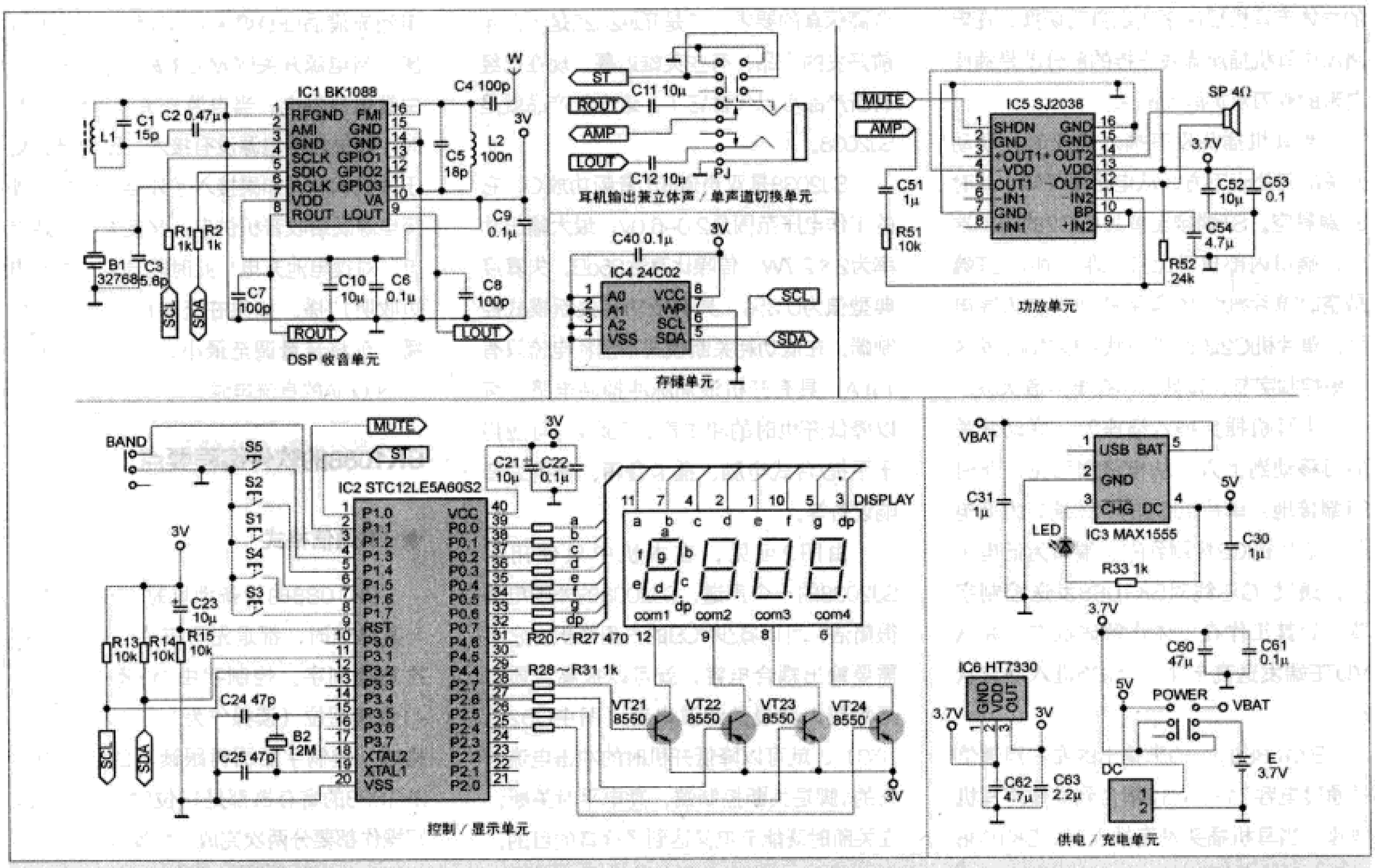


图2 此款DSP调频/调幅收音机电路图

2. 接收按键指令，实现对应的功能操作。对来自轻触开关S1~S5、波段开关BAND、耳机联动开关送来的开关量进行判断，发送对应的控制指令，实现相应的功能操作。

开关S1/S2是电台升/降键，S3/S4是音量升/降键，S5是搜存台键。按住S5的时间在3s以上时，收音机将进入搜存台状态。在此状态时，收音机从频段的下边界开始搜索，数码管显示搜索进度（即频率值），当搜索到有效台时将存储此台并显示当前存台数量（即台位号），搜索到频段的上边界时将退出搜存台状态，并播放1号台的广播节目。

3. 对功放单元的静音控制。在使用耳机收听广播时，IC2的P1.1口送出高电平，让功放单元的IC5进入关断模式，达到静音、节电的目的。

4. 数据显示。将电台台位号、频率值和音量值通过4位共阳数码管显示。IC2的P0口输出段码数据，P2.4~P2.7口输出位动态扫描脉冲。

本机采用数码管作为显示器件的理由是：体积小、价格低、亮度高，并且显示的字符醒目直观，在白天也可以看得很清楚。在采用动态显示时，数码管消耗的电流实测值为40mA左右。为了进一步节约电能，延长电池使用时间，台位号、音量值只显示1.5s，频率值显示5s，之后就关闭数码管，达到节电的目的。

◆ 存储单元

由采用I²C总线通信的24C02电可擦除存储器构成，存储器负责存储搜索到的电台频率值、台位编号以及音量值等数据，注意要选择可以在3V低电压下工作的产品。有的公司的24C02在低压工作时要降低I²C总线通信速率才可以正常工作，如果遇到存储数据不正常、读写失败的问题，可在软件中降低I²C总线通信速率，问题即可解决。

◆ 耳机输出兼立体声/单声道切换单元

本机用一个扬声器放音，所以在收听调频立体声广播时要切换到单声道状态。而在用立体声耳机收听调频立体声广播时又要切换到立体声状态，保证还原出立体声效果。立体声/单声道切换在本机中没有设置手动切换开关，而是采用了带开关

图3 DSP收音机模块和SOP封装的IC

的立体声耳机插座来实现自动切换。在电路图中耳机插座虚线连接的部分就是插座自带的双刀双掷联动开关。

当耳机插头没有插入插座时，联动开关的刀处于下方，从电路图可知，此时ST端悬空。ST端接至单片机IC2的P1.0端口，端口内部自带上拉电阻，所以ST端悬空时单片机IC2检测到P1.0端口为高电平，单片机IC2通过I^2C总线对BK1088发送一串控制字节，让其工作在单声道状态。

当耳机插头插入插座时，联动开关的刀移动到上方，从电路图可见，此时ST端接地，单片机IC2的P1.0端口为低电平。单片机IC2检测到P1.0端口为低电平后，通过I^2C总线对BK1088发送控制字节，让其工作在立体声解码状态，并从MUTE端发送高电平，让IC5进入静音状态。

BK1088的8、9脚输出的左右声道信号通过电容C11、C12耦合到立体声耳机插座。当耳机插头没有插入时，BK1088工作在单声道状态，左、右声道输出相同的音频信号。右声道的信号经过接通的触点送至功放单元，由扬声器放音。当耳机插头插入时产生两个动作：一是耳机插座的触点断开，功放单元失去信号，同时控制单元发出MUTE静音指令，IC5进入静音状态，扬声器无声，二是让BK1088工作在立体声解码状态，此时左、右声道信号通过电容C11、C12直接输出到立体声耳机，实现用耳机收听立体声。耳机选用阻抗为32Ω的立体声耳机。

◆ 功放单元

本机采用3.7V/600mAh锂电池供电，由锂电池的放电特性决定了供电电压范围在2.8~4.2V内，因此要选择低压供电下可以工作的功放集成电路。提到低压功放，大家可能都会想到经典的功放集成电路TDA2822。TDA2822的工作电压范围是1.8~12V，符合本机的要求。但笔者并没有选用它，一是从实践经验来看，TDA2822的本底噪声比较大，不能满足当今高保真的要求。二是TDA2822是十几年前开发的产品，有些英雄迟暮。现在已经有新产品可以代替它了，这个新产品就是SJ2038。

SJ2038是双声道BTL音频功放IC，它的工作电压范围是2.0~6.0V，最大输出功率为2×2.7W，信噪比高达95dB，失真度典型值为0.3%，具有低功耗关断模式控制端，在低功耗关断模式下消耗电流只有1μA，具有开机浪涌脉冲抑制电路，可以降低开机时的冲击声。SJ2038可应用于手提/台式电脑、插卡音箱、便携式音响设备等。

由图2可见，在本机中只使用了SJ2038的一个声道，SJ2038的外围电路很简洁，可以减少PCB的占用面积。它不需要输出耦合电容，就可以提高音质。不需要大容量的滤波电容（图中C52、C53），就可以降低开机时的冲击电流。它的1脚是关断控制端，高电平时关断，在关断时既能节电又达到了静音的目的，低电平时SJ2038正常工作。关断控制电平由IC2的P1.1端口送出。SJ2038的信噪比确实很高，在无信号输入时，把耳朵贴近扬声器听不到任何噪声。当BK1088的音频输出电压为100mV时，经SJ2038放大后在4Ω负载上实测可得到290mW的音频功率，符合小收音机的使用需求。

> **TIPS** HXJ2038、CM2038、PM2038、SP2038与SJ2038功能相同，引脚排列一样，它们之间可以互换使用。

◆ 供电/充电单元

本着绿色环保、使用方便、体积小、容量大的原则，本机选择了3.7V/600mAh锂电池供电。供电分为两路，一路是锂电池提供的3.7V电源直接供给功放单元，另一路是锂电池的3.7V电源经过IC6降压、稳压后产生的3V电压提供给DSP收音单元、控制/显示单元、存储单元。

锂电池充电电路由IC3及4个外围元件构成，充电电流为280mA。发光二极管LED为充电指示，充电状态时LED发光，电池充满后LED熄灭。DC为外接电源插座。当电源开关POWER按下时，收音机由锂电池供电。当电源开关POWER抬起时，如果外接电源没有接入，则收音机处于关机状态。如果接入了外接电源，则外接电源既给收音机供电，又使充电电路得电，对锂电池充电，此时收音机可边充电边收听广播。如果在充电时不想收听广播，可将音量调至最小。外接电源采用5V/500mA的直流电源。

BK1088的软件编程要点

◆ I^2C通信格式

BK1088的设备地址是0x80。MCU与其通信时，都是先写芯片的设备地址，再写控制字。控制字由7位寄存器地址+1位读写位（读操作为1，写操作为0）构成，控制字后面再跟读写的值。由于BK1088的寄存器都是16位的，所以读或写操作都要分两次完成，每次读出或写入8位数据，两次操作合成16位数据。下面的操作示例可以帮助大家理解上述概念。

写数据。对地址为0x03的寄存器写入数据，则控制字=(0x03<<1+0)=0x06。I^2C的通信过程如下：启动→写芯片的设备地址（0x80）→芯片应答→写控制字（0x06）→芯片应答→写数据高8位→芯片应答→写数据低8位→芯片应答→停止。

读数据。读取地址为0x03的寄存器内的数据，则控制字=(0x03<<1+1)=0x07。I^2C的通信过程如下：启动→写芯片设备地址（0x80）→芯片应答→写控制字（0x07）→芯片应答→读数据高8位→MCU应答→读数据低8位→MCU非应答→停止。

◆ 初始化寄存器

BK1088上电后，要对其内部的寄存器0至寄存器40（共41个寄存器）进行初始化，正确初始化后，芯片才能进入工作状态。所谓初始化就是对上述41个寄存器写入规定的数值，通过这些数值可以设定

芯片的接收模式、频段、搜台步长、音量值、解码器状态、搜台方式及配置内部电路工作状态（如放大器增益）等参数。涉及配置芯片内部电路工作状态的寄存器值由厂家提供，用户只需将规定值写入对应的寄存器即可。其他寄存器数值的选取规则，在芯片的技术文档中有详细的阐述。

BK1088有两种接收模式——FM与AM。在不同的接收模式下，41个寄存器的初始化值是不同的，每个模式对应有自己的初始化值，所以在接收模式切换后，要重新初始化41个寄存器值，芯片才能在对应的接收模式正常工作。

初始化寄存器后，要先延时500ms后再进行其他操作，这样才能保证初始化数据有效地写入，芯片内部模拟器件（如锁相环等部件）才能达到稳定状态。

BK1088在FM、AM接收模式时对应的两组初始化值现已征得厂家的同意，公布给读者，其电子文档可从《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn上下载。

◆ 设置接收模式

BK1088支持两种接收模式——FM与AM。FM与AM的切换由REG7[13] (表示寄存器7的第13位，下同)来设置，如下：

REG7[13] = 0，FM接收模式，REG7[13] = 1，AM接收模式。

◆ 设置频段BAND与搜台步长SPACE

BK1088的FM工作频率范围为64~108MHz，可分为4个频段进行设置。频段BAND通过REG5[8:7](表示寄存器5的8~7位，下同)来设置，如下：

00B = 64~108MHz （全频段）
01B = 64~76MHz （东欧频段）
10B = 76~91MHz （日本频段）
11B = 87~108MHz （欧美，中国频段）
在本机中BAND设置为11B，即中国频段。

搜台步长SPACE通过REG5[6:5]来设置，如下：

00B = 10 kHz
01B = 50 kHz
10B = 100 kHz
11B = 200 kHz
在本机中SPACE设置为10B，即步长100kHz中国制式。

AM模式也分为4个频段，频段BAND通过REG5[8:7]来设置，如下：

00B = 153~279 kHz （长波）
01B = 520~1710 kHz （欧美中波频段）
10B = 2.3~21.85 MHz （短波）
11B = 522~1710 kHz （中国中波频段）
在本机中BAND设置为11B，即中国频段。

搜台步长SPACE通过REG5[6:5]来设置，如下：

00B = 1 kHz
01B = 5 kHz
10B = 9 kHz
11B = 10 kHz
在本机中SPACE设置为10B，即步长9kHz中国制式。

设置接收模式、设置频段BAND与搜台步长SPACE均可在初始化寄存器时同时完成。

◆ 设置接收频点

在BAND与SPACE设置完成后，就可以设置接收频点了，频点即接收频率。

接收频率通过REG3[14:0]的15位二进制数来设置。换算公式如下：

REG3[14:0] = HEX((Freq-Freq0)/SPACE)
Freq为预接收电台的频率，Freq0 为所选频段的起始频率，SPACE为搜台步长。

下面以FM模式为例，进行频点调节操作：

假设设置BAND=11B，即选择频段为87~108MHz，设置SPACE=10B，即选择步长为100kHz。如果需要设置频率为101.7MHz，那么REG3[14:0]=HEX((101.7-87)MHz/100kHz)= 0x93。

将0x93写入REG3[14:0]，同时将REG3[15]置1，BK1088将开始调节频点至101.7MHz。调节结束后REG10[14]即STC位将被置1，表示一次调节完成。如果需要设置新的接收频点，即又一次调节操作，除了把新的值写入REG3[14:0]，同时还需要将REG3[15]清0，然后再次将其置1，BK1088才会开始根据新的值进行另一次调节操作。

上述设置接收频点的过程在BK1088的技术文档中称之为Tune。

程序示例：

```
void  setfreq(unsigned int freq)
设置接收频点子程序
{  fx=freq-870;    //fx为欲写入
REG3[14:0]的值
  start();//启动I2C通信
  xieshu(0x80);//器件地址
  ack();//应答检测
  xieshu(0x06);//REG3的地址，写操作
  ack();//应答检测
   xieshu16(fx&0x7fff);//写入fx值同
时将REG3[15]清0
  ack();
  stop();//I²C通信结束
  start();//再次启动I²C通信
  xieshu(0x80);//器件地址
  ack();
  xieshu(0x06);//REG3的地址，写操作
  ack();
   xieshu16(fx|0x8000);//保持fx值不
变同时将REG3[15]置1，
  ack();从而启动调节操作
  stop();
}
```
AM频点调节的方法与FM频点调节方法相同。

◆ 软件搜索电台

BK1088提供了硬件搜台（Seek）和软件搜台（Tune）两种不同的搜台方式。为了显示搜台进度，本机选用了软件搜台方式。在分析软件搜台前，先理解两个概念：真台与偏台。

真台：DSP收音机芯片设置的频点与电台的频率相同时，芯片的接收效果最好，这时在当前频点接收到的电台称之为真台。

偏台：某一电台的信号，除了在真台频点上可以接收到，在真台频点左右临近的频点上有时也可以接收到，在这些临近频点收到的同一电台称之为偏台。偏台的

收听效果不够理想，我们要将其剔除。

在软件搜台方式中，控制软件需要在每个频点上都Tune一次，每次Tune完成后需要读出相关寄存器中的数据，控制软件通过这些数据来判断当前频点接收到的信号是否为真台。这样的操作循环进行，直至搜索完整个频段。

在FM接收模式，软件搜台时，控制软件要读取的寄存器有：REG10 [12]，对应的数据称之为AFCRL（AFC 超界），REG10[6:0]，对应的数据称之为RSSI（实时信号强度指示），REG9[6:0]，对应的数据称之为SNR（信噪比），REG9[15:7]，对应的数据称之为AFC值。

在某个频点上，软件判断接收到的信号是否为真台的过程需要以下5个步骤：

1．是否AFCRL=0，是，AFC未超界，可能是真台，继续下面的判断，否则，AFCRL=1，AFC超界，设置到下一个频点并返回步骤1重新判断。

2．是否RSSI≥39，是，实时信号强度符合要求，可能是真台，继续下面的判断，否则，设置到下一个频点并返回步骤1重新判断。

3．是否SNR≥7，是，信噪比符合要求，可能是真台，继续下面的判断，否则，设置到下一个频点并返回步骤1重新判断。

通过上面3个步骤的判断，只能判定收到的信号可能是真台，但偏台也有可能会被判定为真台，混在真台的队伍中。为了纯洁队伍，剔除偏台，还需要下面2个步骤的判断。

4．AFC值的判断。AFC是自动搜台频偏判断参数，是去掉偏台的重要判据。若AFC值在0~60之间或者AFC值在（511-60）~511之间，即AFC值会极小或极大，则AFC值符合要求，继续下面的判断。否则，偏台，设置到下一个频点并返回步骤1重新判断。

例如，97.4MHz是北京音乐台，如果此台的信号较强，收音机除了在97.4MHz本频点能接收到电台信号外，设置频点在97.3MHz、97.5MHz等左右临近频点也可以接收到97.4MHz电台信号。此时，由于信号较强，RSSI值、SNR值也会符合真台的判据，这时如果用RSSI值、SNR值去判断97.3MHz、97.5MHz是否是真台肯定是没有用的，只有靠AFC判据了。

AFC判断的原理是（仍以接收97.4MHz北京音乐台为例分析）：当接收频率是97.4MHz的电台信号时，如果收音机频点设置到97.4MHz电台频率后，通过芯片内部运算，真台的AFC值一般在0~60之间或者在(511-60)~511之间，即AFC值会极小或极大，而设置频点在97.3MHz、97.5MHz这两个频点的AFC值一般大于60或小于(511-60)，即AFC值将会比较靠中，不会非常小也不会非常大，由此作为判定是否偏台的依据。

5．Last Frequency deviation（上一个频点的频偏）的判断。

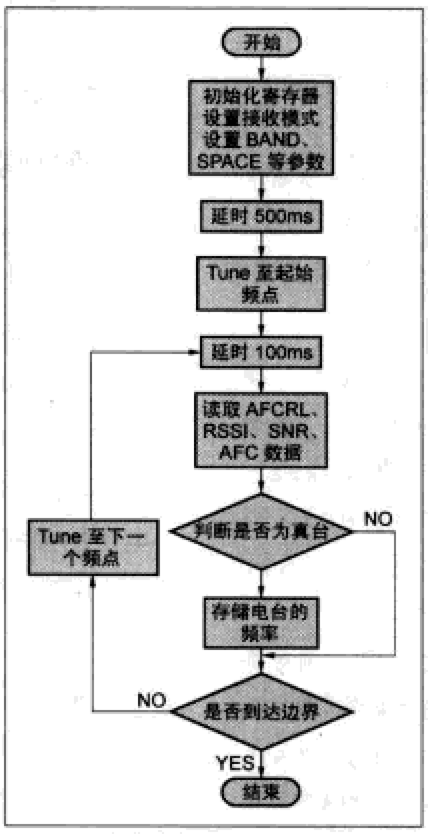


图4 软件搜台流程图

软件自动搜台时在设置完上一个频点时就会将上一个频点的频偏（即AFC值）用一个16位寄存器存储下来。存储这个值有什么用呢，下面还是以97.4MHz北京音乐台为例，分析此参数的作用。

如果97.4MHz频点的AFC值为40，根据AFC值的判断，是真台，并将此时的AFC值存入Last Frequency deviation寄存器。当搜到97.5MHz频点时，一般情况下读出来的AFC值会在60以上，根据AFC值的判断，是偏台。如果万一晶体振荡器B2偏差较大，导致97.5MHz频点读出的AFC值刚好是59，而我们的AFC判断范围放到了60，用AFC值判断97.5MHz频点肯定也当真台了。没关系，这时候last frequency deviation就会起作用了，检查上一个频点即97.4MHz的AFC值只有40，对比之下，说明上一个频点是相当“正点”的真台，这个97.5MHz肯定是偏台了，跳过它，设置到下一个频点并返回步骤1重新判断。如果不加这个判据，偏台偶尔还是会有一两个漏网之鱼，有了这个判据，真台左右临近频点的假台就被彻底消灭了。在AM接收模式下，软件搜台时，控制软件只需要对RSSI、SNR进行判断就可以了，厂家给出的判据值是RSSI≥16、SNR≥21。

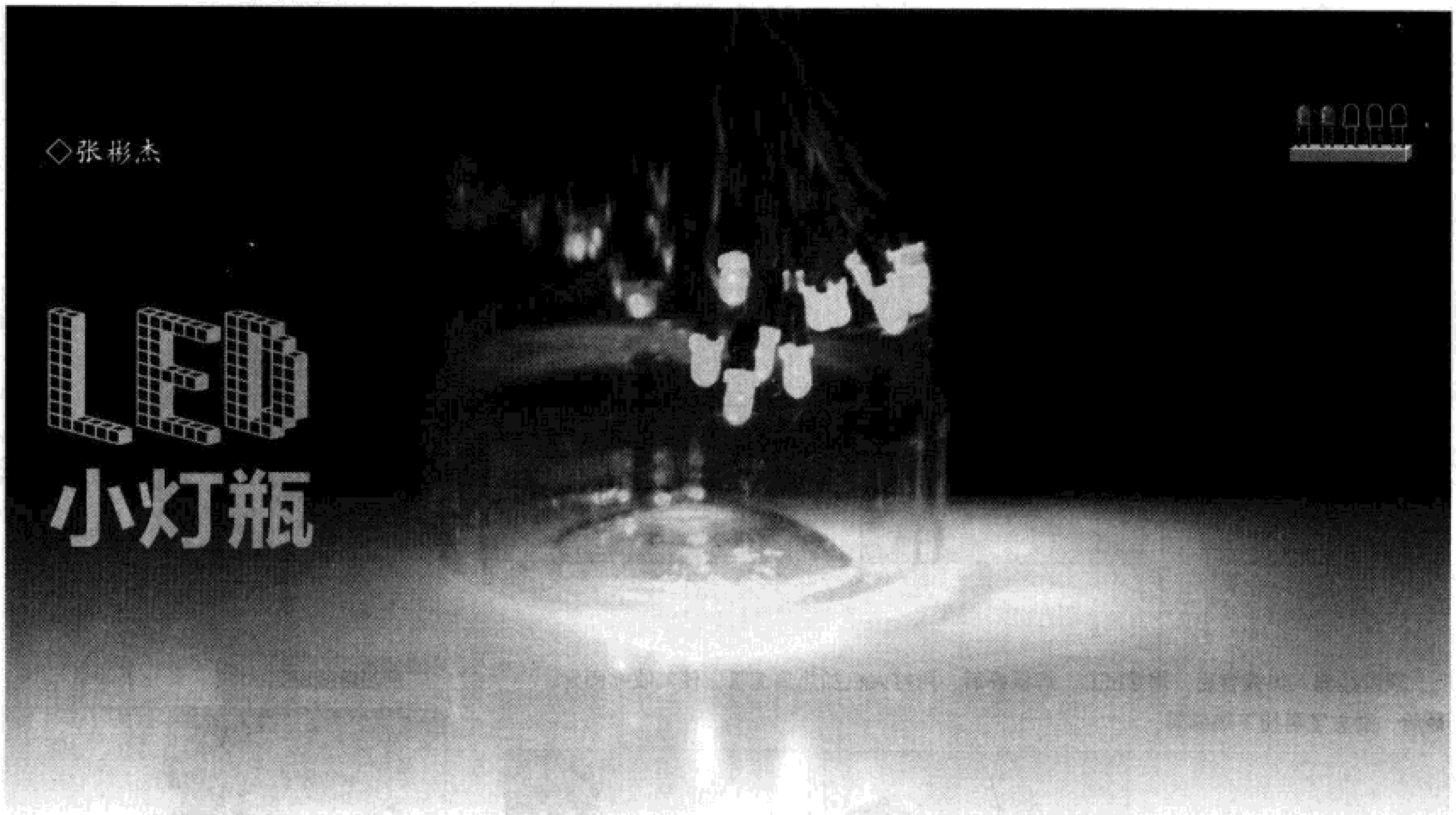
软件搜台的流程图见图4，读者可参考此图编写针对BK1088的控制程序。

制作体会

用BK1088制作的DSP收音机灵敏度比较高，在笔者的居住地，北京市区钢筋水泥浇筑的楼房中，调频波段搜索到了23个电台，除了北京本市的14个电台外，还有9个外省的电台，在中波段搜索到了6个电台。

BK1088输出的音频信号音质较好。在用立体声耳机收听调频广播的音乐类节目时，现场感很强。将音频信号送入有源音箱播放时，能够听到播音员的唇齿音。由于其音质比较出色，所以BK1088不仅可应用于多媒体播放器、便携式/台式收音机，还可以应用于汽车音响、台式音响系统中，作为收听广播用的优质节目源。

在采用软件搜台方式时，只要通过合理的选取判据值，就可以获得理想的搜台效果（搜到的真台多、无偏台）。判据值的选取可以以厂方提供的默认值为基础，在此基础上通过实际搜台效果来调整确定。反正MCU可以烧写上千次呢，反复改写十几次自然不成问题。



◇张彬杰

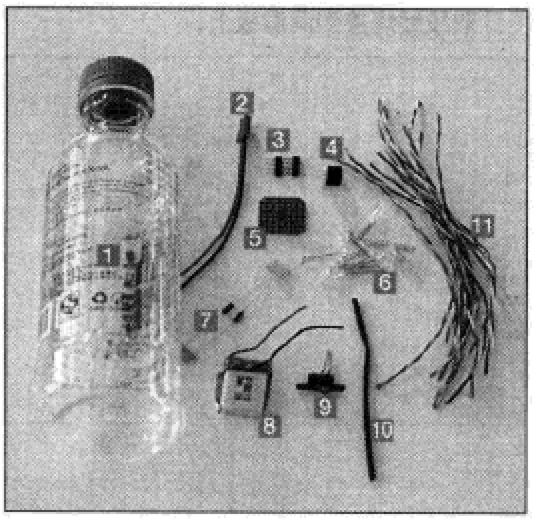
LED 小灯瓶

起源

有一天在网上看到一个制作——LED电子萤火虫，我感觉电路很有特点，于是就想仿制一个。那个LED电子萤火虫用的是ATtiny13单片机来控制，我也正好有。而且硬件制作比较简单，成本也不高，10元钱都不到，就能DIY一个。虽然简单，但是制作却需要耐心和细心，毕竟需要连接12个LED，焊接的工作量不少，我自己用了一个下午才完成，而程序更是陆陆续续地写了几个小时。

估计你会很好奇地问，一共才6个可用I/O引脚的 ATtiny13，怎么能驱动12个LED呢？其实，我要告诉你，它不仅可以点亮每个LED灯，而且还能控制每个LED的亮度呢！这才是本次制作的精华。在制作的过程中，发生了一点小小的意外。由于我购买的JST充电线和原来的充电器引脚相反，致使我原本打算使用的小型锂电池损坏，不能充电。在万般无奈的情况下，我只好更换体积更大的锂电池了。

主要部件



编号	名称	说明
1	空瓶子	外观
2	JST插头	用于给锂电池充电
3	单片机插座	方便更换单片机
4	ATtiny13 单片机	控制电路的芯片
5	洞洞板	固定支撑作用
6	12个LED灯	发光组件
7	220Ω电阻	限流电阻，防止LED烧毁
8	3.7V锂电池	电源
9	开关	电源开关作用
10	1.5mm 热缩管	包在金属上，防止短路
11	双绞线	网线上拆下的

这次的主要元件就是ATtiny13和12个LED灯。当然还有双绞线、洞洞板、电池、空瓶子、电阻等其他辅助材料。

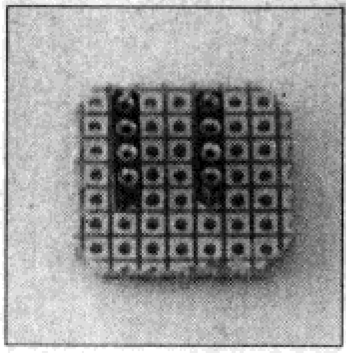
本制作使用的是8个引脚的ATtiny13单片机，这款单片机现在的价格很便宜，4元左右就能买到。 ATtiny13是AVR单片机，它有1KB的 Flash、64B的EEPROM、64B的SRAM、6个通用I/O口线、 32个通用工作寄存器、1个具有比较模式的8位定时器/计数器、片内/外中断、4路10位ADC、具有片内振荡器的可编程看门狗定时器，以及3种可以通过软件进行选择的省电模式。12个LED为普通的3mm发黄色光的LED。

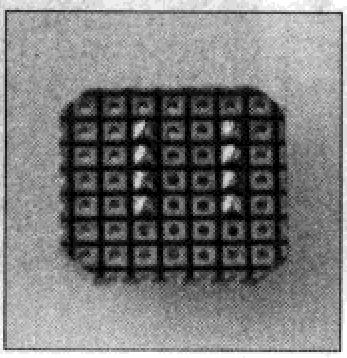
功能及特点

- 你可以送给朋友作为生日礼物。
- 它发出的淡黄色的光很温馨，可以在吃饭、聚会时烘托气氛。
- 虽然LED灯瓶有12个LED，由于程序使用的是逐点动态扫描的驱动方式，整体功耗仅仅相当于点亮一个LED灯。因此，电池充电一次，连续工作一个星期不成问题。
- 用6个I/O引脚的单片机驱动12个LED。
- 可控制LED的亮/灭及渐变。

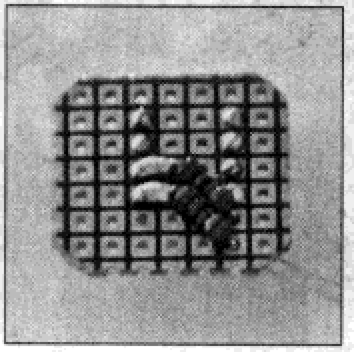
制作过程

1 焊接单片机插座。

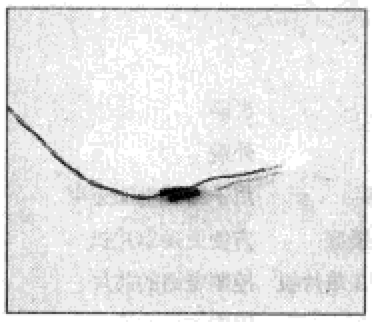


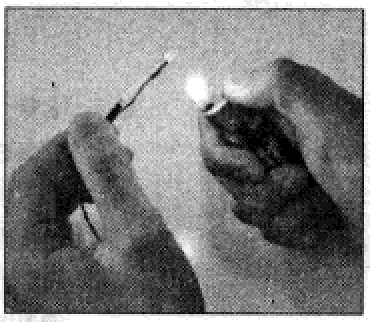


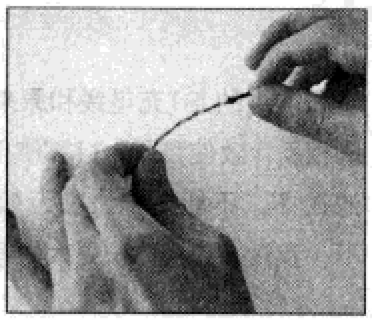
2 焊接两个电阻。



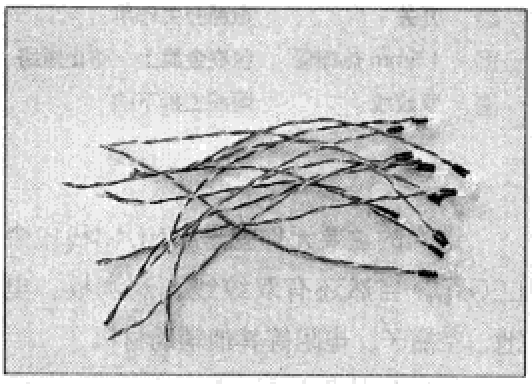
3 双绞线套入热缩管后，焊接LED。焊接好后，用打火机加热热缩管，使其收缩固定。最后，别忘了再扭下热缩管。



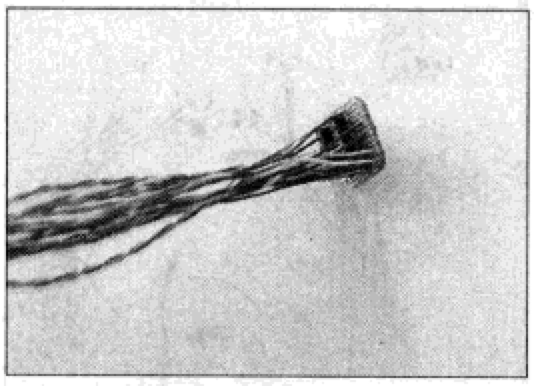




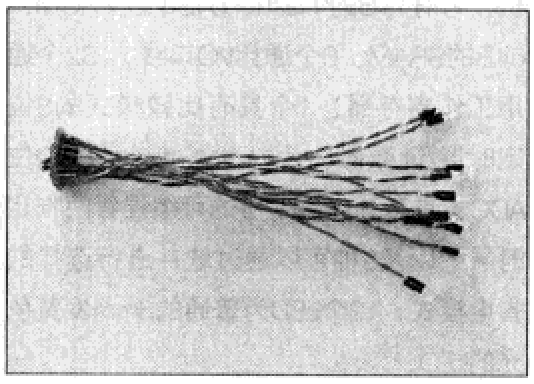
4 焊接好的12个LED。



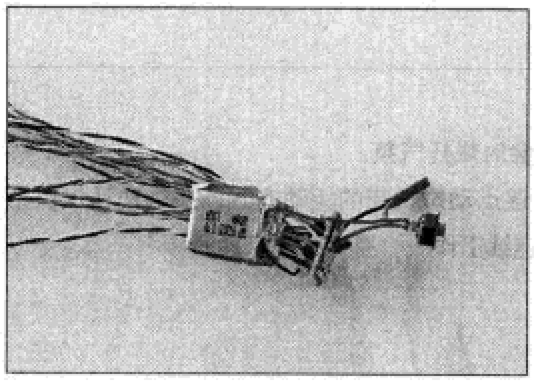
5 双绞线焊接到洞洞板上。



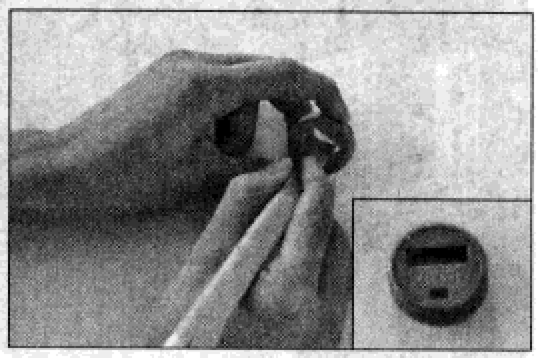
6 洞洞板和双绞线焊接好的效果。



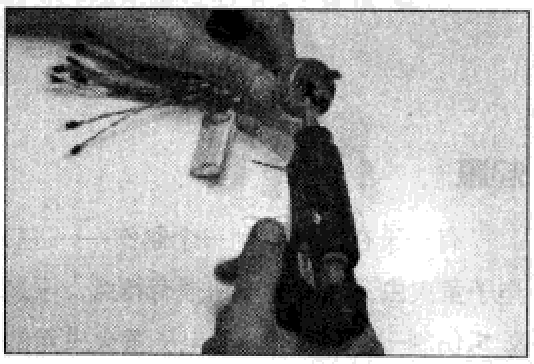
7 焊接JST插头、锂电池和开关。

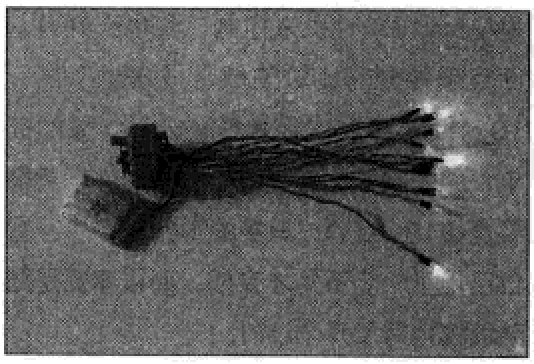


8 在瓶子上开口。

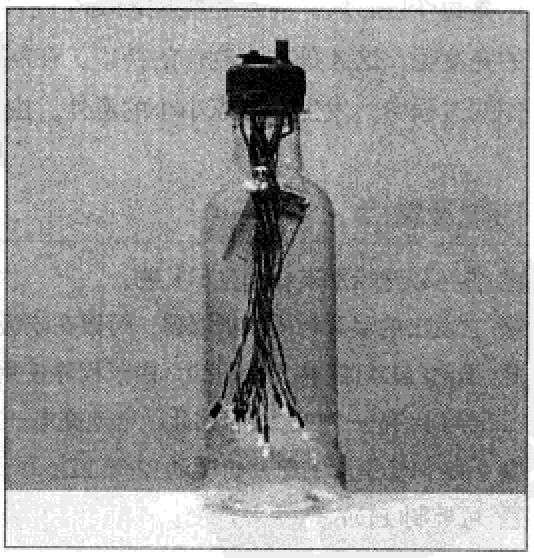


9 用热熔胶固定。





10 装入瓶子中。



控制原理

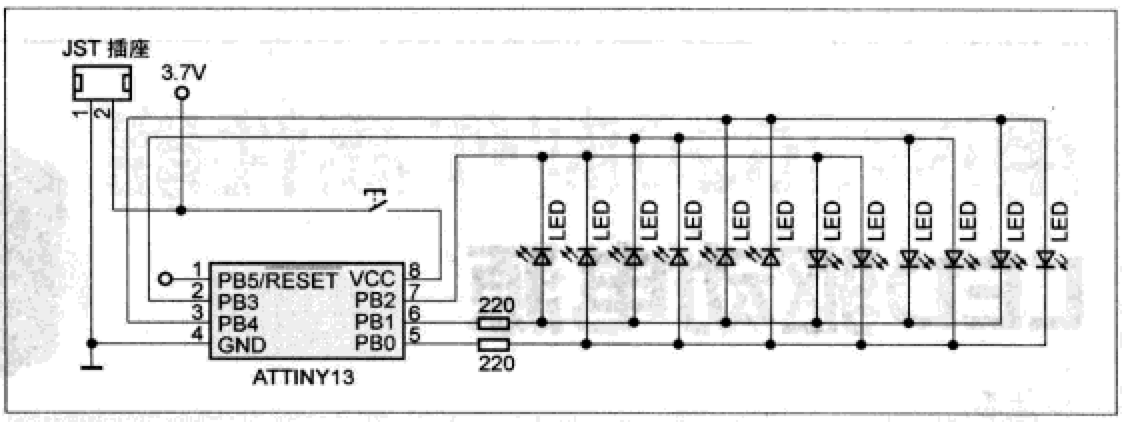
为什么6个I/O能控制12个LED呢？它们之间会不会相互影响呢？其实，这样的连接方式不仅能控制每个LED灯，还能控制其亮度呢！之所以能这样连接，是因为AVR单片机的每个I/O都是3态输出。如果用普通51单片机，这样连接是不行的。

那么又是如何控制LED灯的亮度呢？控制亮度的关键是ATtiny13的两路PWM，它们可以分别设置连接到PB0和PB1引脚上。在ATtiny13使用内部振荡器的情况下，PWM的最高频率可设置为47.5kHz。而且PWM的极性可以通过设置寄存器而改变，这使得12个LED灯亮度的控制更加简单了。

先谈谈如何控制每个LED灯单独的亮和灭。ATtiny13的每个I/O都有4种状态，即输出0状态、输出1状态、高阻态（悬空态）、带上拉电阻的高阻态。要使LED亮必须要让LED中流过正向的电流，如果要让最左边的LED亮，PB1输出1、PB2输出0即可。但是，其他不相关的引脚需要设置成高阻态。否则，如果PB0此时也为1的话，第2个LED灯也会亮。总之，为了保证其他LED不受到影响，在设置某个灯亮时，必须先把所有I/O设置成不带上拉的高阻态。

能控制亮和灭有什么了不起？呵呵，其实还能控制每个LED单独的渐变，就是渐渐变亮，渐渐变暗。我举个例子吧，如果要最左边的LED渐渐变亮，就先设置PB2引脚为0电平，PB1引脚设置为高电平驱动的PWM波。然后，程序逐渐控制PB1的PWM状态，通过调整PWM高电平的脉宽长度来实现亮度控制。当PWM高电平的时间长时，LED就变亮了。反之，LED就变暗了。

那么电路原理图中第7个反过来接的LED怎么实现亮度控制呢？原理还是一样，只是PB2将刚才的0电平设置成1电平，原来PB1为高电平脉冲驱动的PWM波设置成低电平脉冲驱动的PWM波即可。同样，要控制第7个LED的亮度，就控制PWM低电平的脉宽长度，当低电平的脉宽长度长时，LED就变亮了。反之，LED就变暗了。



控制电路原理图

那么能实现所有的LED同时发光吗？制作过程中，这个功能的实现倒是困扰了我一会儿。后来，我想到了动态扫描。什么是动态扫描？老式电视机不就是这个原理吗？电视机通过磁场让射线高速地扫描屏幕，从而产生一幅画面。那么，让每个灯分别亮1ms左右，然后像电视机一样不断地扫描，看上去就都亮了。在此基础上，再控制每个灯的亮度数值，就能实现整体亮度控制了。如果LED足够多，单片机引脚也足够多，还可能显示一副灰度画面呢！

3种效果的程序编写

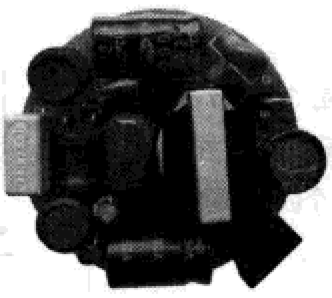
程序的PWM频率设置为最高的37.5kHz。之所以选择这么高的频率是为了不影响动态扫描。试想，如果PWM频率为100Hz，那么还怎么动态扫描呢？在程序中，动态扫描实际的频率为62Hz。这已经足够骗过人的眼睛，让我们看不到灯的闪烁。

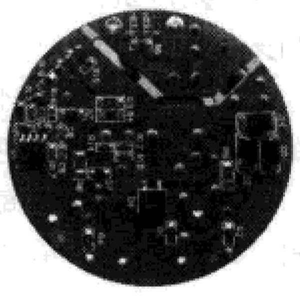
在单片机的中断代码中，程序每过26μs就会产生溢出中断一次，通过变量count计数中断次数。当中断的次数达到50次时，就更换下一个LED灯，显示它对应的亮度。LED的亮度存储到led[ ]这个数组中，每个LED灯通过载入对应的亮度值，即通过改变PWM产生寄存器的OCR0A与OCR0B，来实际控制高低电平脉宽长度，最终实现亮度的控制。当然，每次通过PWM控制亮度，都要先根据LED的驱动电平方式，重新设置PWM的控制模式。在此之前，还要记得设置不相关的引脚为高阻态。

LED的3种效果控制程序能够实现LED灯不断地变换，只要调用就能分别实现如下功能：所有LED灯的呼吸效果，逐个点亮和熄灭LED灯，LED灯流水显示的效果。从编程的思路上讲，led[ ]数组存放了12个元素，每个元素所存内容，即对应每个LED灯亮度值。要改变某个LED灯亮度，都是通过设置led[ ]数组中对应元素的 PWM 缓冲数值来实现自动变换。要让所有的灯全亮只需设置数组中的每个元素的数值都为255即可。如果要一半的亮度就设置为128。要让某个灯单独最亮，只要设置这个LED灯元素数值为255，其他的元素为0。如果任意LED要产生渐渐变亮的效果，那么只要对应数组元素中的数值从0逐渐变为255即可。同理，渐渐变暗，数值就从255变成0。要实现什么样的效果，大家可以通过改变led[ ]数组来实现。Ⓦ

■ 本制作的源代码可到《无线电》网站www.radio.com.cn上下载，程序使用CVAVR编译，点击工程文件即可直接打开修改。当然你不想修改、完善的话，可以直接烧录编译好的HEX文件。

用iW3620制作高性能LED驱动电源





◇任杰

LED用作照明灯具有很多优点，而随之而来的缺点是，LED灯珠对驱动电源的要求要高得多，需要采取恒流限压的方式。笔者看到过很多种LED驱动的方案，但一直没有动手实践过，这次我使用iW3620芯片制作了一款高性能LED驱动电源，现将制作过程和效果与大家分享。

iW3620是iWatt公司的数字PWM控制器，在输出电压25~33V之间提供350mA的恒定输出电流，用于驱动8~10颗1W的LED灯珠。在110V和220V网压下，该方案的实测效率高于85%，恒流精度优于1%，功率因数大于0.8。

电路原理

图1是笔者采用的设计方案的电路原理图，电路为反激式拓扑，相信看过《无线电》今年第8期中介绍开关电源制作的读者对这一基本结构不会再陌生，略有区别的是这里的L1、L2和L3构成了差模滤波器，并且电路中加入了由C2、C6、VD2、VD4和VD5构成的填谷式PFC。什么是PFC？PFC是功率因素校正的英文缩写，简单地讲，PFC就是为了使开关电源中输入电流波形接近输入电压波形而采用的一种电路，这样做能够减小开关电源对电网的干扰，增加电源的利用率。

本次电路与今年第8期介绍的开关电源的区别还包括：开关管（VT1）是外置的，没有了TL431和光耦组成的反馈回路。图中的R11、VD8和R13构成了典型的栅极驱动电路，VD8和R11使得MOS管的关断更快。那么没有了TL431和光耦反馈回路后，输出电压是通过什么调节的呢？我们看到了R12和R14，iW3620通过这两个电阻对辅助供电绕组的分压获得输出电压信息，至于它是如何获得的，这里就不讨论了。

而本次电路和第8期介绍的开关电源的根本区别在于，本次电路需要的是一个恒定的输出电流，电压是根据负载变化的，而第8期介绍的开关电源输出的是一个恒定电压，电流依赖于负载。图1中，iW3620通过检测R18上的电压，就能有效地控制输出LED灯串的电流。

元器件选型

电源是给其他用电设备提供能量的，

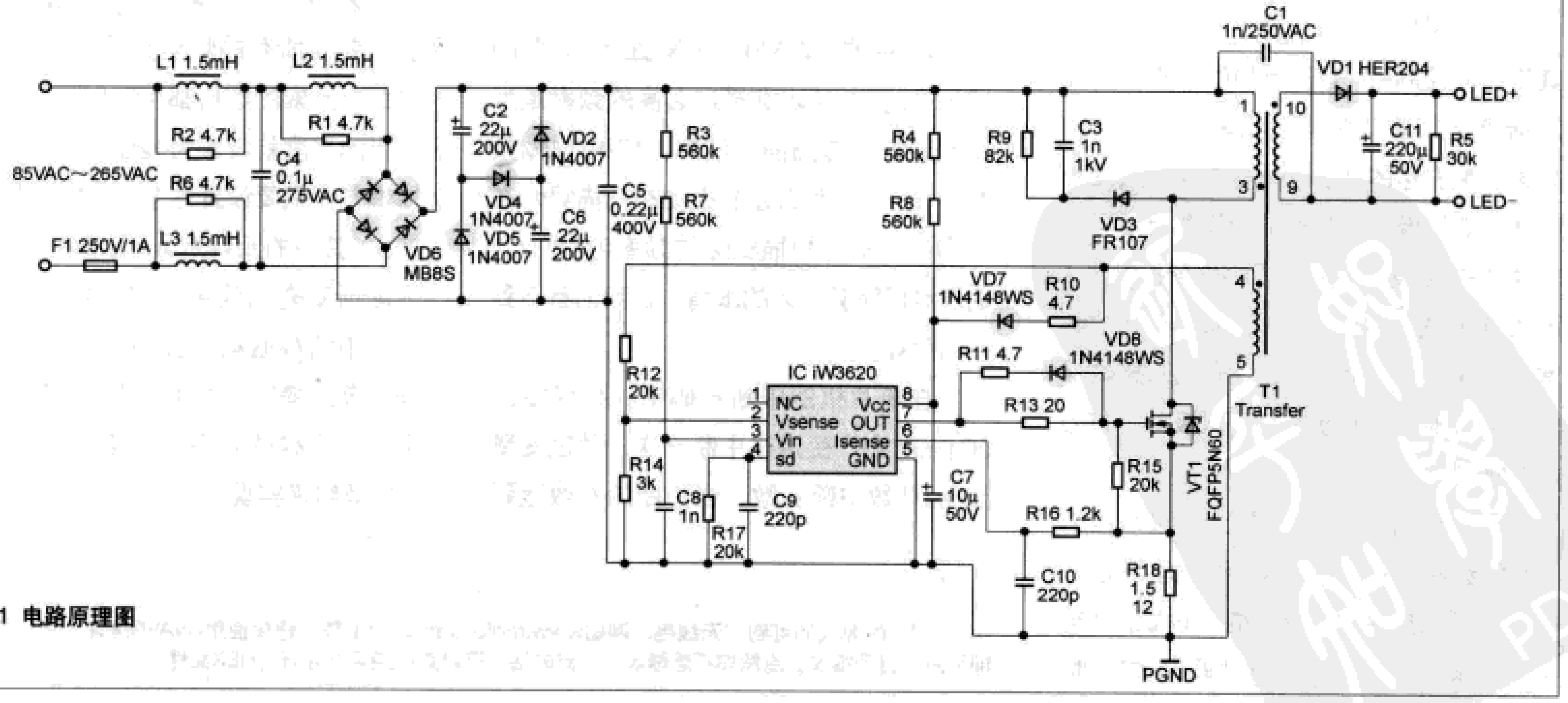


图1 电路原理图

表1 器件清单

器件名称	器件标号	单板用量	器件型号	器件封装
安规Y电容	C1	1	1nF/250VAC	陶瓷直插
铝电解电容	C2、C6	2	22μF/200V	10×16直插
高压陶瓷电容	C3	1	1nF/1kV	陶瓷直插
安规X电容	C4	1	100nF/275VAC	塑封直插
CBB电容	C5	1	220nF/400V	塑封直插
铝电解电容	C7	1	10μF/50V	5×10直插
铝电解电容	C11	1	220μF/50V	10×12直插
贴片陶瓷电容	C8	1	1nF/50V/X7R	0603
贴片陶瓷电容	C9、C10	2	220pF/50V/NPO	0603
贴片电阻	R1、R2、R6	3	4.7kΩ/5%	0805
贴片电阻	R3、R4、R7、R8	4	560kΩ/5%	1206
贴片电阻	R5	1	30kΩ/5%	0805
贴片电阻	R9	1	82kΩ/5%	1206
贴片电阻	R10、R11	2	4.7Ω/5%	0603
贴片电阻	R12	1	20kΩ/1%	0603
贴片电阻	R13	1	20Ω/5%	0603
贴片电阻	R14	1	3kΩ/1%	0603
贴片电阻	R15、R17	2	20kΩ/5%	0603
贴片电阻	R16	1	1.2kΩ/5%	0603
贴片电阻	R18a	1	1.5Ω/1%	0603
	R18b	1	12Ω/1%	0603
工字电感	L1、L2、L3	3	1.5mH	8×10直插
快恢复二极管	VD1	1	HER204	DO-15
整流二极管	VD2、VD4、VD5	3	1N4007	SMA
快恢复二极管	VD3	1	FR107	DO-41
整流桥	VD6	1	MB8S	贴片
小信号二极管	VD7、VD8	2	1N4148WS	SOD323
保险丝	F1	1	1A/250VAC	玻璃管直插
MOSFET	VT1	1	FQFP5N60	TO-220
集成电路	IC1	1	IW3620	SOP8
变压器	T1	1	详见说明	EE19

电源的故障将会导致其他设备的故障，特别是AC-DC的开关电源，更是关乎到安全问题。因此，这一类制作不同于玩单片机，安全可靠需要放在第一位，而元器件的选择则是安全可靠的首要保证。

表1给出了本次制作的元器件详细清单。需要注意的是，不要用普通的陶瓷电容或者CBB电容代替C1和C4，宁缺毋滥，省略整流桥前面的器件（除保险丝）以及C1、C5不会影响电路的正常工作。

表1中的电阻出现了3种不同的封装，在开关电源中，电阻封装的选取除了考虑功率外，还要特别注意耐压的问题。一般0805封装的贴片电阻耐压为150V，1206封装的贴片电阻耐压为200V。由于市电整流、滤波后可能出现的直流电压最大值为375V，因此对于直接连接高压直流处的电阻，需要使用两个1206封装或者3个0805封装的电阻串联以满足耐压要求，如图1中所示的R3和R7以及R4和R8。（在此笔者纠正一个错误，第8期制作中的R2和R5，由于笔者疏忽，错误地选用了0805封装的器件，这可能造成电路的潜在故障，在此向读者致歉）。

图1所示电路中，开关管的选取有一些小的技巧。单从电路的功率角度考虑，1A/600V的MOSFET就能满足要求了，但是大电流的MOSFET有较低的导通电阻，有助于降低导通损耗。而任何事情都有两面性，一般电流越大的MOSFET价格越高，并且栅极电容也会较大，这就导致了成本的上升和开关损耗的增加。综合考虑，这里推荐选用2~6A的MOSFET。

在这里，输出二极管VD1要求耐压大于200V，笔者选用的是HER204（2A/210V的快恢复二极管），也可以用更为常见的FR207（2A/700V）代替，但是可能会轻微影响效率。

变压器的制作

第8期的杂志中，笔者详细介绍了变压器的绕制过程和注意事项，这次的制作将不再赘述。首先给出本次制作的变压器各项参数：

◆ 磁芯尺寸：EE19
◆ 初级绕组：Φ0.21mm漆包线，80T
◆ 次级绕组：Φ0.35mm漆包线，40T
◆ 反馈绕组：Φ0.21mm漆包线，14T
◆ 初级电感量：500μH±5%

绕制时从次级开始，绕完一层（约20T）次级线圈后，缠绕3层绝缘胶带，然后开始绕初级线圈，直至初级线圈绕完为止（大约3层）。初级绕制完成后，缠绕3层绝缘胶带，然后绕制反馈绕组。反馈绕组绕制完成后，缠绕3层绝缘胶带，继续将次级绕组绕完。

这次绕组的绕制顺序和第8期介绍的略有不同，我们看到，本次采用了次级“包裹”初级的顺序，而第8期介绍的是初级“包裹”次级的顺序。这两种方法从根本上来讲都是为了提高初、次级之间的耦合系数。另一个不同之处是，本次的反馈供电绕组被夹在中间，这是因为在没有TL431和光耦的情况下，反馈绕组的电压表征着次级电压，为了尽可能减小从反馈绕组折算到次级绕组电压的误差，提高次级绕组和反馈绕组的耦合系数显得尤为重要。

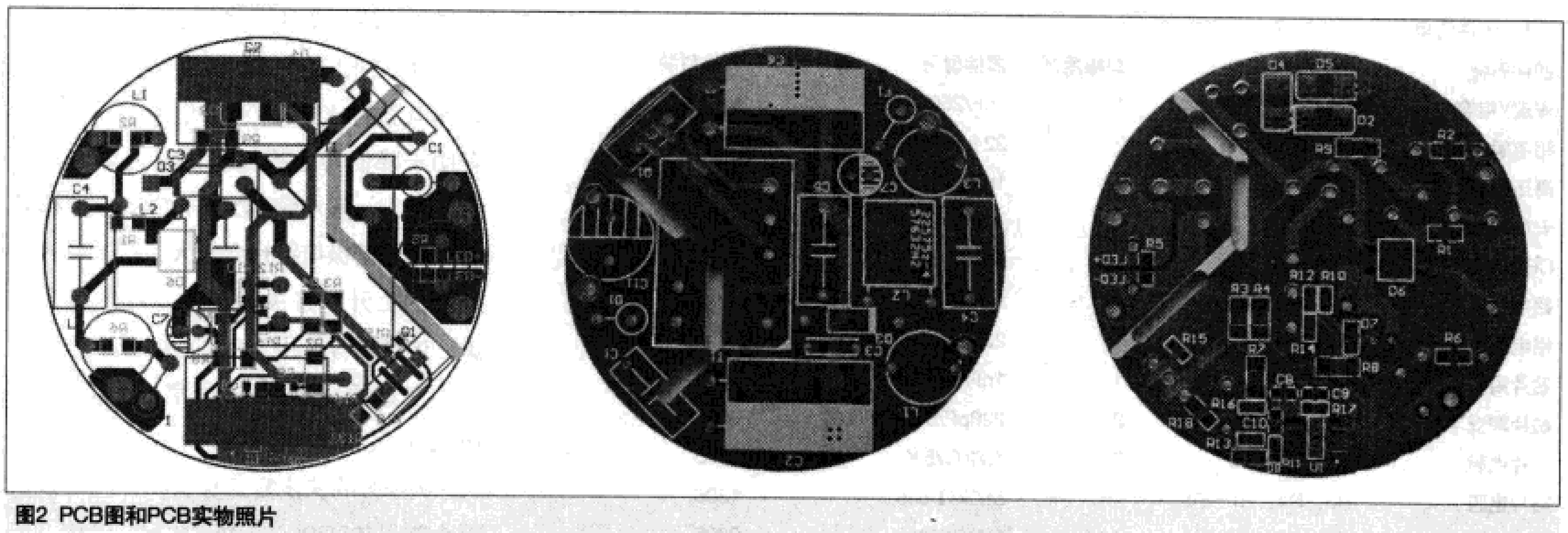


图2 PCB图和PCB实物照片

为了安全起见，若有条件，次级绕组最好选用3层绝缘线。如果初次级绕组和反馈绕组都是普通漆包线，一定要注意在绕制时留出一定的边缘距离，确保线头之间的绝缘。

绕制完成后，还有最重要的一步，那就是给磁芯开气隙。由于电路工作原理的影响，本次制作中对初级电感量的精度要求比较高，需要控制在±5%，也就是475~525μH。在磨气隙的过程中，需要更频繁地测量，以防止气隙磨得太大。

最后把开好气隙的磁芯和骨架用胶带固定在一起，并把骨架上多余的引脚（这里只用了10个引脚中的6个）拔掉，变压器就制作完成了。

PCB的设计

这次的电路设计在一个直径为5cm的圆形双面PCB上，PCB的顶层全部放置直插元件，底层全部放置贴片元件。PCB的布局和布线要满足以下要求：

1. 初级和次级之间应该做好隔离，留出尽可能宽的间距或者开槽；

2. 交流输入两线和整流、滤波后的直流高压线之间，应尽可能保持宽的间距；

3. L1和L3之间的互感可以起到共模滤波的作用，因此L1和L3应平行放置，而L2则应尽可能减少与L1和L3之间的耦合，所以L2与L1、L3之间应垂直放置；

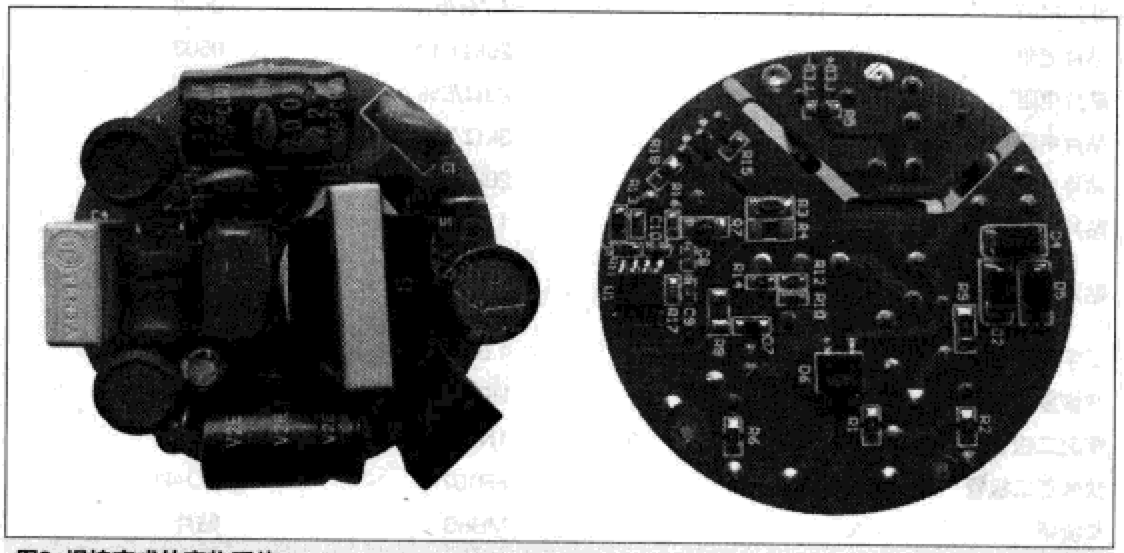


图3 焊接完成的实物照片

4. TO220封装的MOSFET栅漏和源漏之间不能满足爬电距离的要求，因此，安装时应该使漏极（第2脚）与栅源之间不在同一水平面上，或者在栅漏和源漏之间开槽型孔。

图2给出了笔者设计的PCB图和PCB实物照片。图中L1和L3垂直安装，L2水平安装，VT1的栅漏和源漏之间各开0.8mm的槽型孔。

焊接与调试

焊接本身没有难度，只是要注意二极管和电解电容的极性问题。笔者焊接完成的实物如图3所示（省略R4和R8不影响电路的功能，但本文以下的测试均是在焊接有R4和R8的样板上进行的）。

焊接完成并检查无误后，就可以进行通电调试。有条件时，尽可能使用隔离变压器和调压器，没有的话，可以在输入端串接一个100W左右的白炽灯泡，接通220V交流市电进行测试。

iW3620允许输出开路，并且输出开路时输出电压会限制在一定值，在这次的设计中，开路电压约33V。通电后如果测量输出端有33V左右的电压，并且没有器件过热等情况的话（注意要断电后检查），说明制作是成功的，接下来可以进一步调参数、测指标了。

调试的参数只有一个，那就是输出恒流值，我们需要调节输出电流到目标值350mA左右，操作步骤如下：将电子负载调节在恒压模式，设定电压为30V（如果没有电子负载，我们可以使用8~10颗1W以上的功率LED串联作为负载，但是

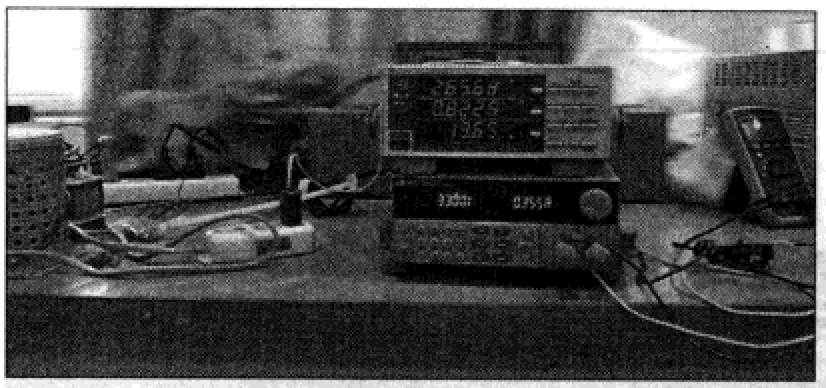


图4 测试现场实拍

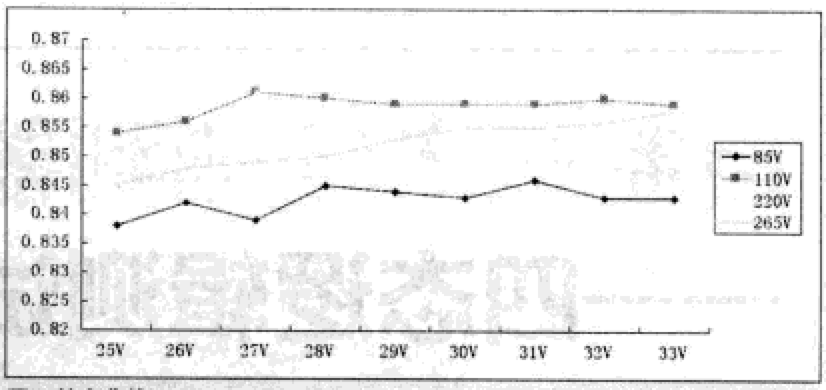


图5 效率曲线

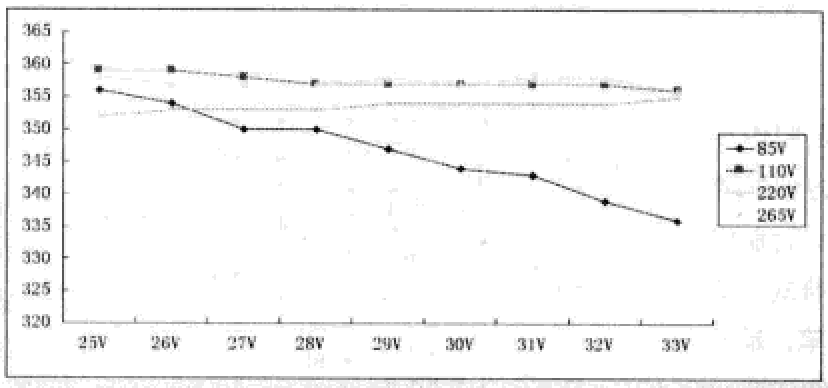


图6 输出电流曲线

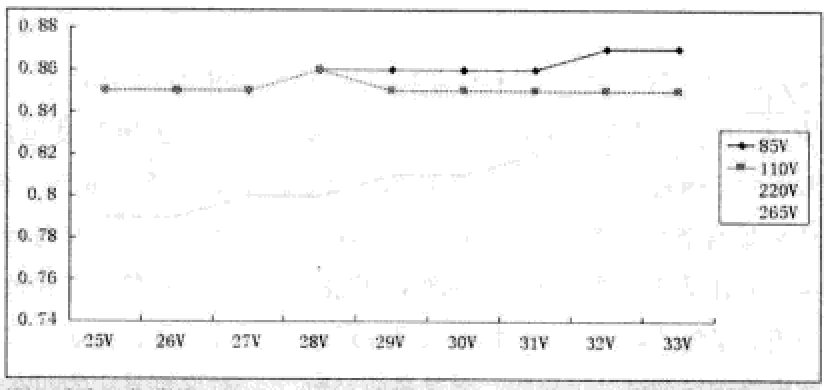


图7 功率因数曲线

不可以使用电阻作为负载），然后接通电源（85～265V AC），观察此时的输出电流。如果输出电流大于350mA，则可以将R18适当增大，如果输出电流小于350mA，则应将R18适当减小。注意，R18的调节范围是比较小的，我们可以通过一个小电阻并联不同阻值的大电阻的方式进行微调，直到输出电流接近350mA，调试宣告完成。

参数指标测试

详细的参数指标测试需要使用交流调压器、电子负载、带PF值测量的功率计，图4给出了笔者测试时的现场实拍。

测试的参数包括不同输入电压和输出电压下的输出电流、功率因数和效率。本次测试输入电压选取了85V、110V、220V和265V四个典型值，输出电压在25~33V之间以步进1V进行变化。

笔者将测试所得数据绘制成了曲线，图5给出的是不同输入电压下的效率曲线。图中可以看出，在110V和220V市电正常电压水平下，输出25~33V之间平均效率高于85%。这样的高效率很大程度上得益于iW3620采用了准谐振工作模式，即在MOSFET漏极电压第一个谷值到来时开启MOSFET，有效降低了开关损耗。

图6显示的是不同输入电压和输出电压下的输出电流曲线，交流电网电压在110V和220V时，输出电流波动小于3mA，恒流精度高于1%。在最恶劣条件的85V输入时，输出电流变化20mA左右，恒流精度依然高于6%。iWatt的PWM控制IC采用了数字化的技术，在同类LED驱动控制IC中，恒流精度可以说是首屈一指的。

前面提到过，电路中加入了无源填谷式PFC电路，下面的曲线给出了实测的PF值。图7中可以看出，电路在整个网压范围内的PF值基本高于0.8，相对于不加PFC电路时有明显的提高。

表2给出了空载时的输出电压值，这项参数对于LED驱动电源也是比较重要的。如果在空载情况下输出突然接通负载，而空载输出电压又过高，很可能导致灯珠的损坏。从表2中的数据可以看出，整个电网电压输入范围内，空载输出电压略高于33V，因此，本次的设计比较适合用来驱动8~10颗1W的LED灯串，如果灯珠串联数太少，尽管稳定状态下能够维持恒流输出（实测输出电压低至10V时，输出电流仍然能够维持在350mA左右），但是接通瞬间，单颗灯珠将会承受过高的电压。

表2 空载输出电压值

输入电压（V）	85	110	220	265
输出电压（V）	33.26	33.26	33.14	33.14

这是笔者第一次设计和制作LED驱动电源，整个过程下来还算是比较顺利的。需要提醒读者的是，对于这类AC-DC的电源，制作过程一定要注意人身安全，带电状态及断电后的几十秒内（断电后的短时间内输入端的大电容仍存有电荷，电压很高）不要用手触摸初级任何部位，调试过程中尽量使用隔离变压器。

自制板卡检测利器——四态逻辑测试笔

◇孙洋

许多电子产品的开发和研制过程中，电子电路硬件部分所占的环节是很重要的。随着现代电子产品所实现的功能越来越智能化，其电路设计也越来越复杂，尤其是结合单片机使用的数字电路的应用更是随处可见。工程技术人员在对数字电路进行调试的过程中，尤其是面对数字电路的H、L瞬时跳变电平、高阻态、数字脉冲的监测与调试，就需要示波器、信号发生器、频率计、逻辑测试仪等仪器仪表互相配合，才能适时掌握和了解电路关键点的信号瞬间变化状态，以便发现和解决问题。

在实验室里，这些当然不是问题。但是，在施工现场进行安装、调试以及维护等情况下，这些测量仪器的搬运、位置摆放、安全使用等，就是一个不大不小的问题。而大部分电子爱好者不具备这样的条件，即便是有这些仪器的专门的电子研发技术人员，操作起来也不是一件很简单的事。

那么，有没有一种能满足这种需要的简单测试工具呢？当然有。这种测试工具能不能自己制作呢？答案是肯定的。下面，我就为大家介绍一种适合自制的简单的测试工具——四态逻辑测试笔。

逻辑测试笔是检测数字电路中各关键点逻辑状态的一种必备的常用工具。数字电路中的逻辑状态一般分为高电平“1”、低电平“0”、高阻态（即悬空状态）、脉冲（即不停地产生高、低变化）4个状态，这也是本制作称为四态逻辑测试笔的原因。

逻辑测试笔应满足制作简单、便于携带、使用方便的要求。为此，笔者特将其设计制作成一只普通笔式大小的样式，拿在手里，宛如一只手写笔，是一款名副其实的四态逻辑测试笔。

制作逻辑测试笔的电路有很多，所用的元器件也多种多样。有用数字集成电路制作的，也

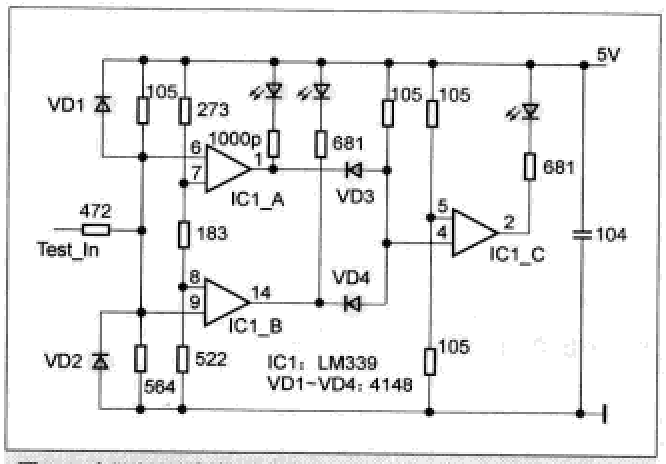


图1 四态逻辑测试笔原理图

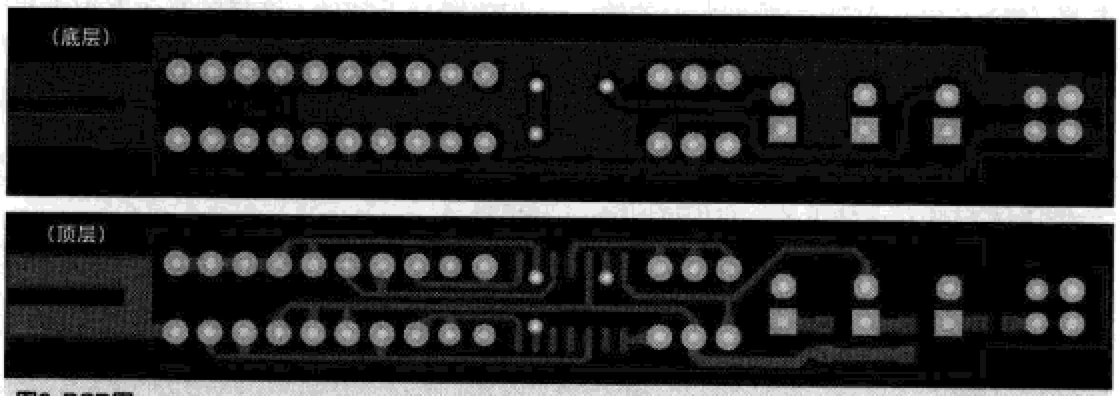


图2 PCB图

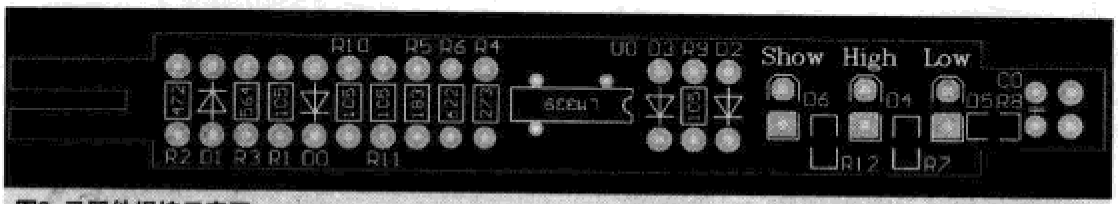


图3 元器件焊接示意图

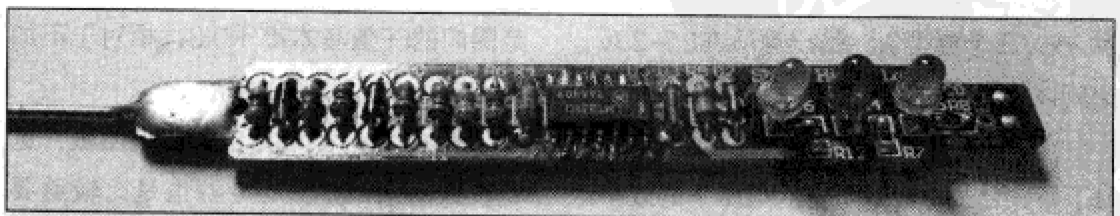


图4 焊接好元器件的成品板

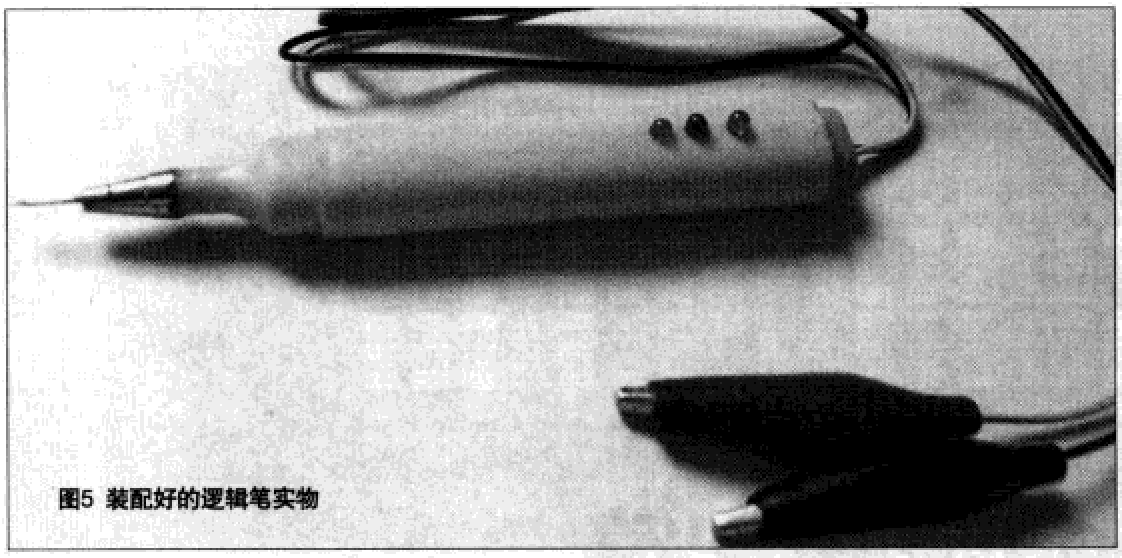


图5 装配好的逻辑笔实物

有用比较电路制作的，甚至还有用MCU（即单片机）来制作的。考虑到就地取材、方便制作、成本低廉等因素，本制作只需准备一枚普通的LM339，再结合一些简单的阻容元件、开关二极管、LED等，就可以自己动手进行制作了。本逻辑测试笔的工作原理图如图1所示，PCB设计可参见图2（制板过程从略），元器件焊接图可参见图3，图4所示是焊接好元器件的成品板，图5是就地取材、利用已经用完的普通化妆笔外壳装配好的四态逻辑测试笔实物。怎么样，制作起来还算简单吧？

本制作对于数字电路逻辑状态的测试结果使用3只不同颜色的LED进行实时显示，LED的颜色与逻辑笔测试的逻辑状态对应关系如下：红色表示高电平“1”，绿色表示低电平“0”，黄色表示“高阻态”，红、绿色交替发光表示脉冲状态。

本文介绍的四态逻辑测试笔，是一种难得的手持式数字电路逻辑状态检测工具。在一些大型联机柜架、工控设备之间进行，可以非常方便地完成万用表无法完成的任务，甚至可以替代示波器来完成一部分检测工作，而且具有万用表、示波器所无法比拟的灵巧方便的特点。尤其是逻辑笔显示直观、清晰明确，所见即所得，一目了然。根据LED指示，可以非常直观、实时地显示出电路被测点是高电平还是低电平，是否是脉冲电平，脉冲性质是正还是负。在大部分数字电路的检测和调试中，能以极小的代价，取得较高的测试效率。

下面以常用的数字电路74HC132D为例（实物见图6），结合四态逻辑测试笔对H、L电平变化的测试做一简单的介绍。74HC132D 是一枚“4组2输入与非门数字集成电路”，该数字电路的方框图如图7所示，功能图如图8所示，该数字电路的逻辑关系可参见附表。

从附表中可以看出，当74HC132D数字电路4组中任意一组的A、B端子为低电平或一高一低电平时，则该组的Y端子即为高电平，当74HC132D数字电路4组中任意一组的A、B端子为高电平时，则该组的Y端子即为低电平。根据这种逻辑关系，首先，将本文介绍的四态逻辑测试笔的黑色鳄鱼夹接入电路的参考地端（即74HC132D的第7脚），红色鳄鱼夹接入电路的5V端（即74HC132D的第14脚），然后，将测试探针刺探74HC132D的第1脚（或对应的第4、9、12脚），若亮红灯，即表示该脚为高电平，接着，将测试探针刺探74HC132D的第2脚（或对应的第5、10、13脚），此时，若亮红灯，则74HC132D的第3脚（或对应的第6、8、11脚）必为低电平，即绿灯亮。根据测试结果的比照，可以快速、准确地判断74HC132D的工作状态。

制作完成的四态逻辑测试笔，在路测量时，只要逻辑测试笔的红灯点亮，则可证实电路中被测点为高电平“H”，逻辑测试笔的绿灯点亮，则可证实电路中被测点为低电平“L”，逻辑测试笔的红、绿灯交替点亮，则可证实电路中被测点输出的是脉冲电平，如果LED点亮的顺序是先绿后红，则被测点输出的是负脉冲，如果LED点亮的顺序是先红后绿，则被测点输出的是正脉冲。本逻辑测试笔接通电源后，黄灯即被点亮，在路测量时，如果也是亮黄灯，则表明电路被测点呈高阻态。

以上，就是本文介绍的四态逻辑测试笔的制作过程。如果您也很感兴趣，就赶快动手吧！如有好的建议，也别忘了和大家一同分享哦！

附表 74HC132的逻辑关系

输入		输出
nA	nB	nY
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

图6 74HC132D集成电路

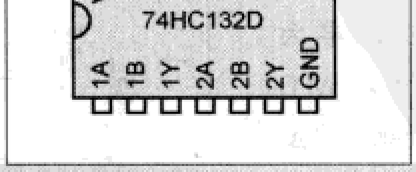


图7 74HC132D

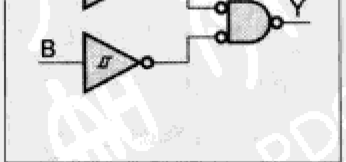
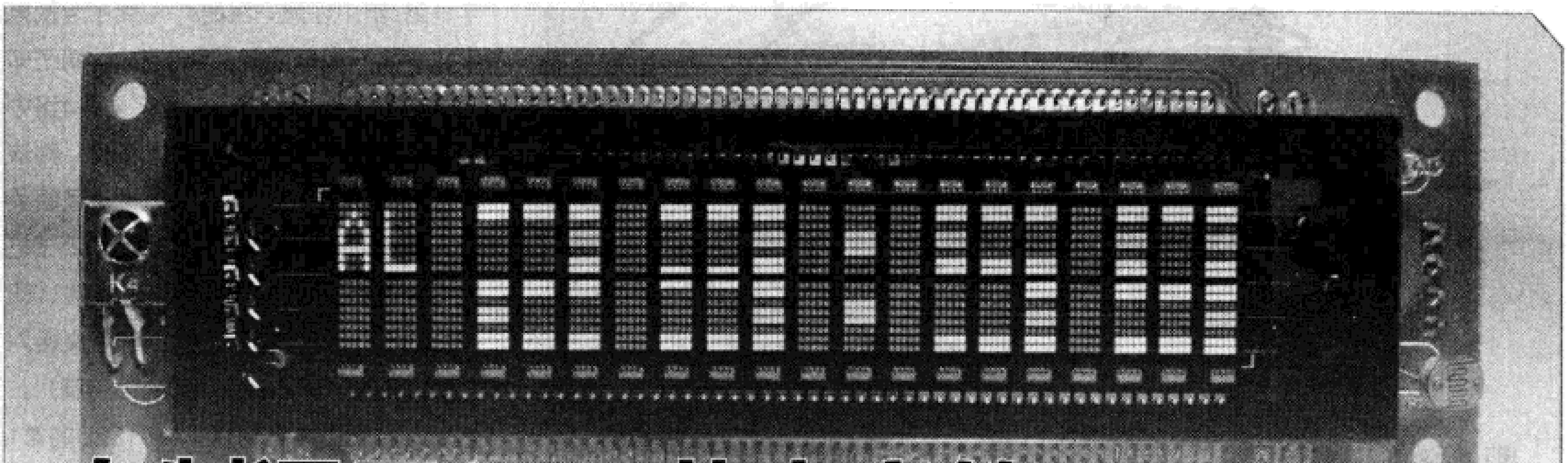


图8 74HC132D功能图



自制通用2002荧光字符显示模块

◇张锋

字符点阵荧光屏简介

点阵字符模块是常见的电子显示器件，具有显示数字、字母、少量汉字和小型图形符号的能力。通常的模块提供的单个字符的显示点阵为5×7或5×8点，全屏提供的显示字符数量由1～4行，8～40列不等，通常以16列两行字符显示的1602型号与20列两行显示的2002型号尤为常见。这些字符显示模块因驱动简单、价格低廉，被广泛用于电子设备的简单人机界面。通常此类模块以液晶型的居多，功耗较低，且部分型号提供LED等形式的背光，以利于在黑暗的环境中使用。但是液晶型模块的缺点也很明显，例如存在视角问题，超过一定的角度，就无法看清显示的字符，其次是工作温度范围比较窄，不适用部分工业应用环境。从业余制作的角度来看，液晶模块最大的缺点还是显示效果单调，无法与VFD、OLED等主动发光的屏幕相媲美。

本制作实际选择的显示屏为SAMSUNG生产的型号为IOR-20T205VFD字符屏，屏幕颜色为标准荧光绿，亮度高，显示效果好。整屏尺寸规格为宽

制作特点：

◇ 使用廉价的通用型VFD驱动芯片，配合单片机自主完成扫描及显示工作，整机无昂贵零件；

◇ 使用小巧的最简高频变压器设计，变压器制作工作量小，绕制完成后的变压器无需额外测试。变压器使用外激式电路驱动，线路简单，制作成功率高；

◇ 使用单片机自身提供的I^2C总线作为外部接口，数据通信线路简单，且具备标准接口特性，可作为通用模块使用；

◇ 板上附带传统电子时钟所需要的RTC、红外接收、CDS感光器、外接授时模块等作为可选配置，方便利用手头的零件资源制作成独立的电子时钟等应用；

◇ 本制作无需过多的调试工作，整个模块功耗低、寿命长、可靠性高。

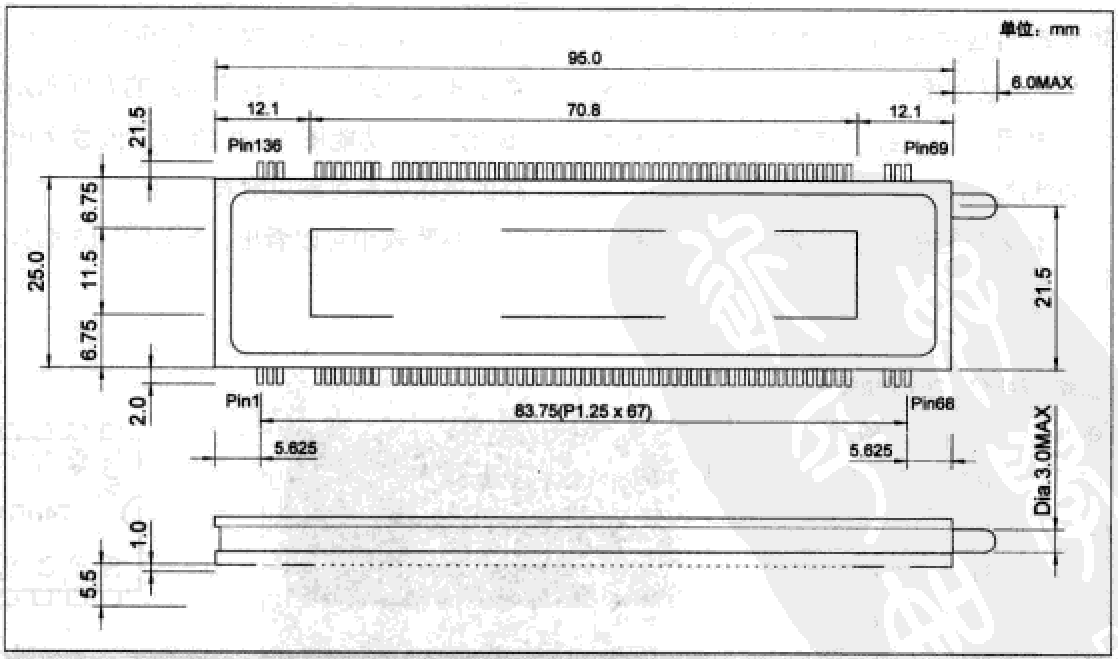


图1 SAMSUNG IOR-20T205尺寸规格图

95mm、高25mm，属典型中小尺寸的字符显示屏。全屏包含20列2行5×8点阵显示区，属于最常见的VFD字符显示屏。在一些P2P网站上能以较低的价格采购到这一型号的显示屏。与购买成品显示模块相比，自制此模块从经济上来算应该相当划算，而且提供的接口可以更加灵活。

图1所示是SAMSUNG IOR-20T205显示屏的基本尺寸图，此屏为动态扫描屏，全屏被分成20个Grid扫描段，每个扫描段包含上下排列的两个5×8点阵显示区域，阳极段总共有80个。灯丝引脚在屏幕两端上下侧引出。为了在这么小尺寸的显示屏上引出上百只引脚，此屏采用上下两排引脚方案，除了灯丝引脚直径为0.6mm外，其余引脚的直径为0.5mm，引脚间距为1.25mm。由于引脚密度较高，在设计PCB及实际焊接时要特别注意间距与过孔直径。

从电气规格上来看，此显示屏与常见的VFD显示屏的不同之处在于其灯丝为直流驱动，驱动电压范围为3.48~4.26V，典型值为3.87V，屏幕内部结构上使用斜拉灯丝方式进行灯丝电位补偿，阳极与栅极电压值相同，高压范围为29.0~35.0V，典型值为32.0V，显示屏灯丝由于采用直流驱动，所以对Ek电压的要求不高，最小值仅要求为2.0V即可。由于是扫描屏，其扫描占空比为1/21，推荐扫描显示周期为80μs。

电压驱动方案的选择

此显示屏驱动的一个麻烦之处在于如何提供各种驱动电压，且又需要保持制作的小巧与低成本。通常情况下，对直流VFD显示屏，会选择使用更适合驱动的正压方案，且正压的生成也更容易。通常典型的2002显示屏的商业驱动方案是采用自激型高频变压器来生成各组驱动电压，配合使用NEC D16314等专用驱动芯片进行驱动。

在业余条件下，如果采用这一方案，存在以下几个问题不容易解决：

首先是NEC D16314价格较贵，即使选择价格稍低的PT6314兼容型芯片，价格也不低，同时在业余条件下采购此类非通用芯片，往往需要一个最小定货量，如果数量未达一定数目，则会按照样片的价格进行计算，将大大增加成本；

其次是此类型专用驱动芯片引脚过多，间距过于密集，对PCB制造工艺也提出要求，增加了PCB制作成本，同时业余焊接这样的密集引脚电路也存在一定的困难；

最后一个问题就是自激型变压器的绕制比较麻烦，业余制作毕竟比不了工业化生产，相关测试仪器设备不可能完全齐备，这种变压器也无法直接采购到定制好的成品，在制作调试过程中会存在很多的困难。

综合以上分析及手头已有的零件，笔者最后确定采用的方案是使用传统的STF16360型VFD负压驱动芯片配合小型高

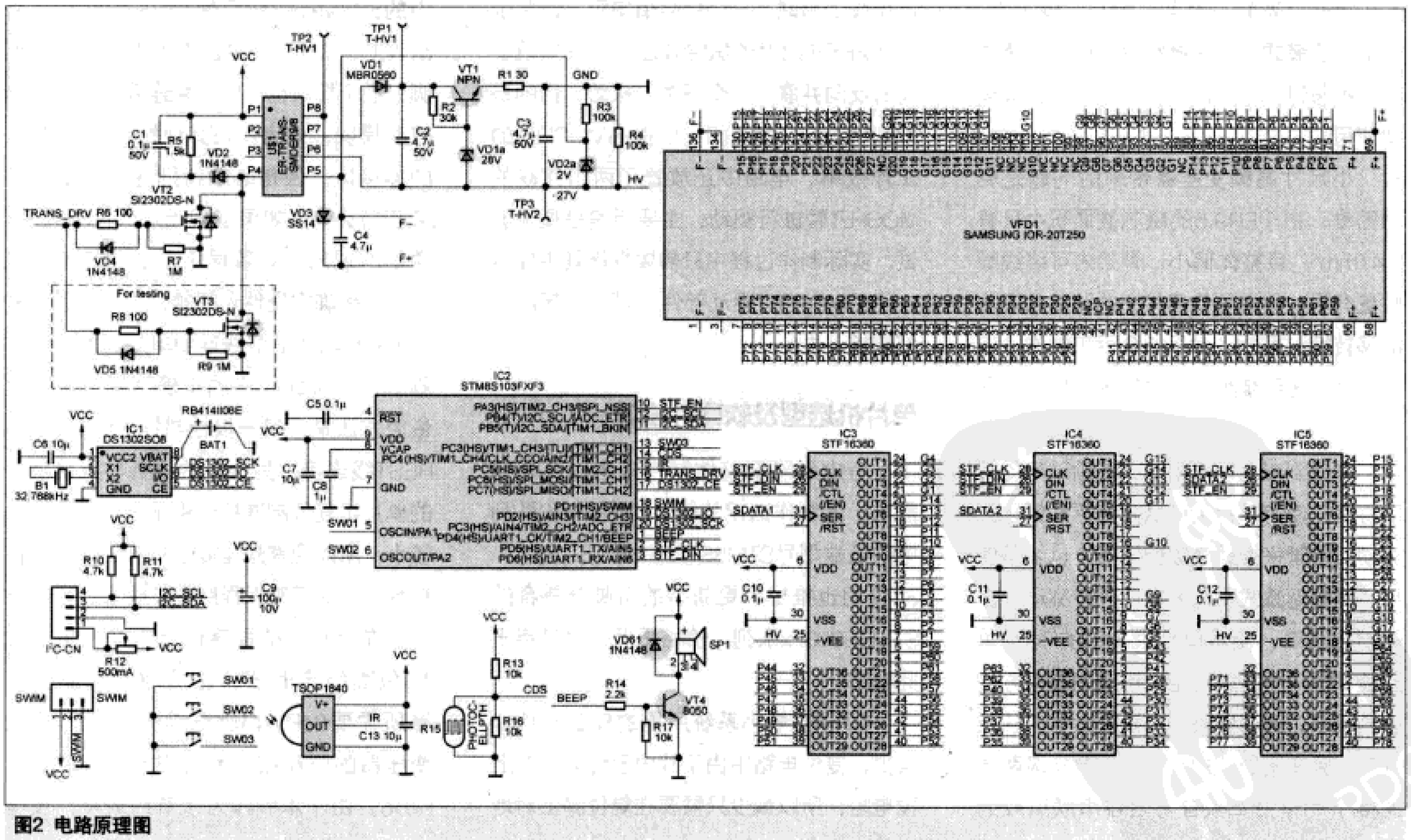


图2 电路原理图

频变压器设计驱动电路。

从基本引脚情况来看，IOR-20T205显示屏总共包含20个栅极加80个阳极，即总共需要驱动100只引脚，而一片STF16360最多只能够驱动36个引脚，所以为了驱动此VFD屏，需要使用3片STF16360进行串联驱动。由于STF16360是通用芯片，易购买，且价格低廉，所以即使需要使用多片级联驱动，但总成本还不到专用驱动芯片的一半，成本降低很多。

由于本制作的目标是制作出一个价格相对低廉的2002VFD显示模块，所以采用小型高频变压器提供灯丝及高压成为最优先考虑的方案之一。在变压器类型的选择上要兼顾到变压器的尺寸与价格，尤其是考虑到应尽量降低模块零件的整体高度，应选择尺寸尽量小的高频变压器，设定变压器高度不应超过8mm。

通过实际的采购、比较与实验，最后笔者选择的高频变压器为使用贴片式骨架的ER9.5规格的PC40高频铁氧体变压器，此变压器骨架的整体尺寸11.7mm（长）×9.1mm（宽），高度4.4mm，磁芯为E型上下安装式，变压器组装完成后的整体高度不超过5.2mm，尺寸小巧，适合本模块使用。

小尺寸高频变压器带来的问题是驱动困难，由于ER9.5的磁芯截面积A_e只有8.47mm^2，且整体偏小，骨架内可绕线圈数量有限，则必须使用较高的驱动频率才能够转换。另外，对于业余手工制作，应尽量将变压器绕组设计得简单，便于初学者自行制作。

考虑到以上两点限制，最后采用的驱动方案是使用单片机提供高频驱动信号，驱动功率管来推动高频变压器，也就是使用“高频他激式驱动方案”进行驱动，在驱动电路中，使用单片机内部的PWM单元提供驱动所需的占空比可调的高频方波驱动信号，通过MOSFET管放大电流从而推动高频变压器的初级。变压器初级两端连接了一个由二极管与阻容串联组成的RCL吸收电路，用于吸收在工作过程中因剩磁产生的反向脉冲尖峰。由于VFD灯丝负载与VFD高压负载功耗基本固定不变，所以电路上未设置反馈电路，以节约制作成本，降低线路复杂性。具体电路连接请参考电路原理图（见图2）。

由于高压部分的生成也是采用变压器绕组输出，且本制作所需的输出电压已接近STF16360最高允许电压-30V，为了防止出现电压不稳而烧毁STF16360芯片，在电路中高压输出部分，增加了一级使用稳压二极管搭配普通扩流三极管的简单稳压电路进行高压稳定。

使用高频变压器为VFD供电的突出优点是电路简单、价格低廉，缺点是业余情况下绕制高频变压器比较麻烦，且变压器转换效率不高，本制作中自制的高频变压器实测转换效率大约为70%。

在高频变压器驱动电路中使用MOSFET作为驱动零件，目的是提高驱动效率，减小元件尺寸。在MOSFET驱动电路中，为提高驱动效率，在MOSFET的控制引脚上串联了一个低阻值电阻，以减少MOSFET开启时的振铃效应。在此电阻上同时反向并联了一个开关二极管，目的是加速MOSFET的关闭，以提高MOSFET的工作效率。电路中还放置了两组并联的MOSFET管进行驱动，主要用途是便于调试，实际制作过程中只需要焊接其中任意一组的MOSFET驱动部件即可，不用两路都焊接上去。

单片机选型及软硬件设计

考虑到降低整体制作成本以及高频需求，本制作选用的单片机为STM8系列中的低端型号STM8S103Fx系列。目前，ST公司也推出了更新型的引脚全兼容的STM8S003Fx系列，价格更低，也可用于此电路。

STM8S最小系统所需的外部元件非常少，复位电路中由于片内已经有一个上拉电阻，所以最少只需要在复位脚上对地连接一个复位电容即可，同时在对应的电源引脚上增加退耦电容。必须注意的是STM8S系列的一个特殊之处——需要在VCAP引脚上增加一个电容，此引脚是校准器的输出，它提供1.8V的电源给内核。通常规格书上建议STM8S的VCAP电容使用的容量是470nF，此电容还应该尽量靠近VCAP引脚。

STM8单片机内置RC振荡电路。本制作使用的是内部16MHz高速RC振荡器作为主时钟，未在外部连接晶体振荡器线路。这样做一来是节约引脚资源与降低成本，二来是因为计时部分使用专用的DS1302，配合32.768MHz晶体振荡器实现了独立的RTC电路，则计时部分对单片机的时钟精度无特殊要求，可以直接使用内部RC作为主时钟。

通常情况下，STM8系列单片机是通过SWIM接口仿真与编程的，SWIM标准接口是4线连接，除了电源与地引脚外，其余两引脚为SWIM与REST引脚，REST复位引脚不是必须的引脚，所以本制作中的SWIM接口仅仅使用了3根引线，引出VCC、SWIM、GND作为编程所需的引脚，这个接口也可以用来连接外部的无线校时模块，或者作为其他输入/输出模块的连接口。但是必须特别注意的是，在某些情况下，如果出现无法通过SWIM口通信的现象，导致程序无法写入单片机时，如果确定硬件无问题，则必须手工将SWIM接口的REST线连到单片机的复位引脚上，以确保程序的正确写入。使用的最简方法是，用一根杜邦针与SWIM上的REST线连接，另一头的插针与电路板上的单片机复位脚连接（由于单片机引脚比较小，所以通常是与复位电容的焊盘保持接触），即可确保程序的正确写入。

在单片机的程序设计中，利用片内16位高级定时器，生成驱动高频变压器所需要的PWM驱动信号，通常反激变压器的驱动信号的占空比都要求低于50%。由于本制作为了节约成本，没有

使用大容量的电容等器件将变压器供电部分与数字电路部分做隔离，所以在输出驱动信号时，应使用软件完成变压器的软启动，防止发生因初启过程中的冲击电流导致主供电幅度大幅度波动，影响单片机等电路的正常工作。

单片机内的8位普通定时器用来生成程序所需的时间片触发信号。片内I²C部分被设置为从机工作模式，当作为通用模块使用时，用以接收外部输入的控制命令与数据。其余单片机引脚作为通用I/O口或作为模拟输入口，与DS1302、红外接收、CDS等电路连接，在闹铃输出中，直接利用STM8S的BEEP引脚，通过一个8050普通三极管的放大，将2kHz的闹铃音输出到无源贴片蜂鸣器上发音。由于没有使用外部晶体振荡器，所以晶体振荡器两引脚被作为普通输入口使用，用来接受开关按键的输入。

STM8S开发资源库中提供了一个开源的触摸按键输入库，可方便实现多种类型的触摸按键支持，非常方便，但是由于增加这一功能需要消耗一定的单片机资源，而本制作使用的是低端单片机，资源比较宝贵，所以整体设计中还是使用了普通的按键式开关作为输入。

RTC电路部分采用的是常规的DS1302应用电路，只是考虑到PCB空间的限制，设计中使用了小型晶体振荡器与414微型可充电电池。DS1302同时支持普通电池、可充电电池与法拉电容等多种后备电源形式，在实际应用中也可以选择使用414同尺寸规格中的法拉电容进行替换，虽然容量稍小，但是与充电电池比，法拉电容的反复充放电寿命更长。

红外接收、CDS等电路属常规型电路，红外接收使用普通一体化红外接收模块，其数据输出口的信号送入单片机的I/O口读取。CDS部分则用于检测环境光，元件与串联电阻电路组合，将最高输出电压范围控制在单片机内部A/D转换器允许的范围内，通过模拟输入引脚送入单片机内转换成数字值后被程序使用，用于自动调节屏幕显示的亮度。

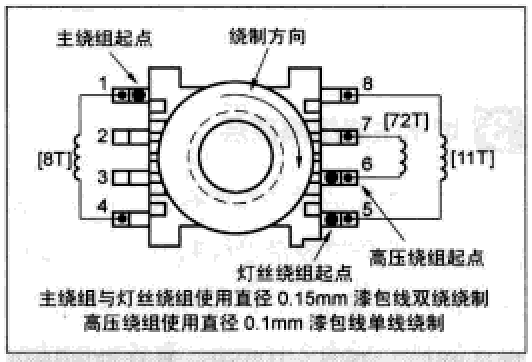


图3 变压器设计绕制图

变压器设计

考虑到业余绕制变压器的麻烦，本制作设计采用最简单的反激式变压器（Fly-Back Converter）设计，共包含3个绕组，全都是无需抽头的单一绕组。所有绕组绕制方向一致，只是所使用的漆包线直径与绕组圈数不同，绕组制作完成后，安装上配套的磁芯，固定后即可使用。整个制作过程非常简单，适合初学者上手自行制作。

在这3个变压器绕组中，主绕组与灯丝输出绕组采用直径0.15mm的直焊型漆包线双线并绕（也可以使用单线分两层单独绕制后再进行并联），高压绕组采用直径0.1mm的直焊漆包线单线绕制，这两种漆包线都是常见的普通漆包线，使用双线并绕的目的是降低绕组的高频阻抗，方便更大的电流通过。在实际制作中，经过多次试验，最后确定的变压器绕制参数如图3所示。

变压器采用的是ER9.5规格的高频变压器，需要说明一点的是，目前国内市场上有多种类型的ER9.5骨架，在尺寸上有微小的差异，在采购时须特别注意磁芯与骨架配套，防止因出现磁芯无法完全合拢等问题，影响实际制作。

绕制前首先需要准备的基本材料是漆包线，由于本制作中的高频变压器为非高压用途，对隔离程度要求较低，可选用普通QA-1型聚氨酯漆包线。这一类型的漆包线具有良好的直焊性，无需进行刮漆，非常方便。对于业余爱好者而言，没有必要为了制作几个小型的高频变压器而去购买整轴的漆包线，现在市场上有很多小包装的维修用直焊型漆包线，只需几毛钱一只，找到对应线径各买一卷即可。

其次需要准备变压器专用胶带，通常也称为玛拉胶带，它是聚酯薄膜基的单面自粘胶带，用于完成变压器绕组隔离与磁芯包扎的功能。市场上可以买到多种不同宽度、颜色、规格的玛拉胶带。如果无法购买到宽度合适的胶带，可先将宽度足够的玛拉胶带粘到“离型纸”（通常不干胶用完后剩余的白或黄色的带油性光泽的纸张就是“离型纸”，最常见的来源是用过的快递单的底纸）上，然后用尺子量出所需要的宽度，再使用美工刀切割出所需要的长度，最后撕离“离型纸”后即可使用。

正式绕制前还需要准备绕制设备。在业余情况下，不是所有爱好者都具备变压器绕线机，一些简易绕制机在ER9.5这样的小型骨架上绕制也存在一定的困难，需要配备专用尺寸的变压器夹头，又需要一笔投资。由于本制作设计的变压器线路简单，所以这里采用自制简易绕制工具——绕制棒，来协助完成绕线工作。

绕制棒可使用小圆棍来制作。本人初次使用的是一个损坏的PCB钻头的尾部，为配合ER9.5骨架中心直径，在钻头尾部粘了几圈透明胶带，以增加直径与摩擦力，后来发现钻头长度稍短，最后换用普通的棉签棒来替代，同样在棉签棒上绕胶带来增加直径。这里有个小技巧，对于需要绕制多层进行增厚的情况，可先用具有一定厚度的电工胶带替代透明胶带。当直径接近骨架内径时，换用普通透明胶带进行微调绕制。根据实际经验，最后几层的透明胶带应换用倾斜45°的粘贴方式，以形成一个锥形的外观，便于骨架插入后紧固，可防止在绕制过程中出现打滑现象。

变压器实际绕制过程

1 首先制作标记点与主绕组起点

先在ER9.5骨架如图4所示的主侧引脚1用油性笔点一个圆点，作为主输入绕组的起点脚标记，在另一侧的对角线方向的引脚5，引脚6也做出对应标记点，然后在骨架的正上方圆盘上以箭头形式画出绕制方向，防止绕制过程中出现方向错误。再次提醒一下，所有的3个绕组都按照同一方向绕制，不要出现反向绕制的现象，错误的绕制方向可能会烧毁驱动管。

做好所有标记后，将骨架插入上面制作好的绕制棒内，插紧固定，然后将直径0.15mm的直焊漆包线双线并列，将起点留出2cm左右后，在主绕组的起点引脚上绕2圈固定。此时，可试着旋转绕制棒，看骨架是否会松动。如无问题即可进行下一步工作。

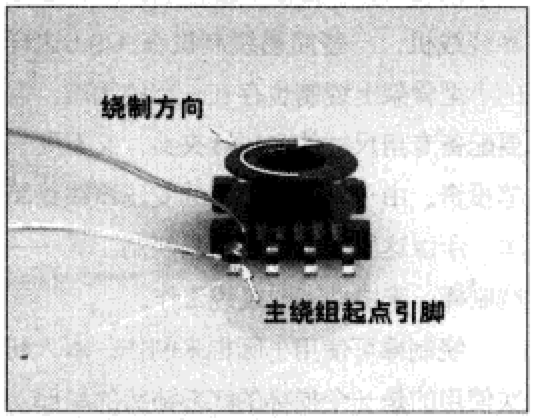


图4 制作标记点与绕制方向

2 主绕组的绕制

将双线按照标定方向在变压器骨架上绕8圈，绕制过程中，应尽量确保绕线平整。正常情况下，主绕组可以在一层内绕完。为便于理线，应确保线头与线尾正确卡在对应的引脚线槽内。绕制完成后，将尾线在主绕组的终点引脚上绕2圈固定，同样留出大约2cm后剪断。这里预留延长线的目的是便于制作完成后对变压器进行测试。

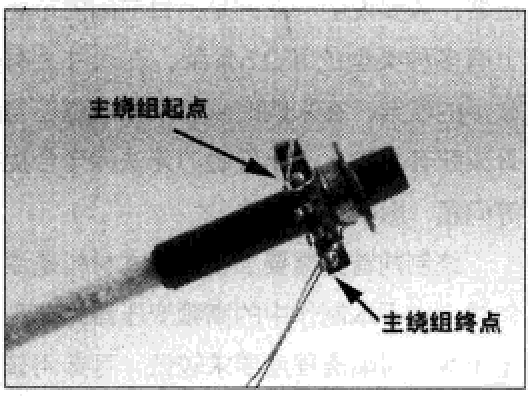


图5 制作标记点与主绕组起点

3 增加主绕组隔离层

主绕组完成后，需要在其上使用宽度为1.9mm的玛拉胶带沿绕制方向绕一圈作为隔离层。实际上，ER9.5的骨架绕组高度比较低，只有2.15mm，有条件的情况下可以进行定制购买，如果无法购买到同样的宽度，可使用手工切割的方法获得。

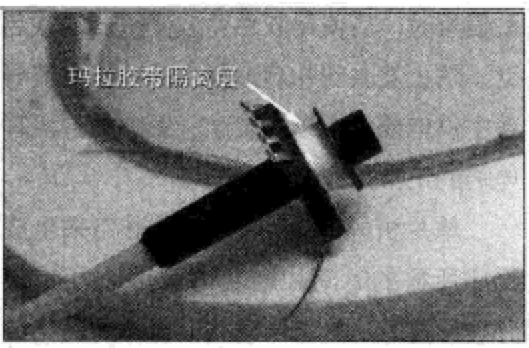


图6 主绕组增加隔离层

4 绕制灯丝绕组

主绕组的起点脚的对角线方向的第5脚作为灯丝绕组的起点脚，之所以选择对角线方向作为起点脚，是因为这样在手工同方向绕制，线路绕制会比较顺畅。与主绕组的绕制方法一致，同样双线沿着相同的绕制方向绕制11圈，引脚同样需要绕2圈固定及保留2cm左右的线头，绕制完后再增加一层玛拉胶带隔离层，准备在其上绕制高压绕组。

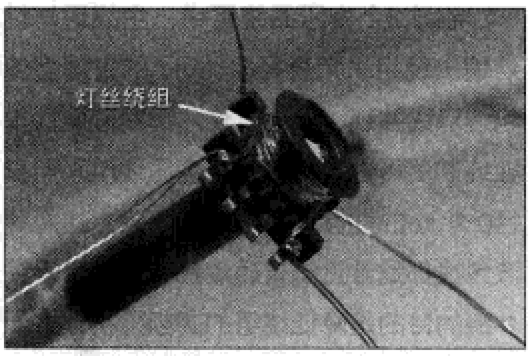


图7 制作灯丝绕组

5 高压绕组

高压绕组连接脚与灯丝绕组在同一侧，且起点引脚为第6脚，总共需要绕制72圈。这一绕组使用直径0.1mm的漆包线，线径较细，在引脚上可以多绕几圈，以确保正确固定，在绕制过程中应注意不要用力过猛，避免拉断漆包线。此绕组所绕的圈数比较多，绕制过程中不要数错。由于绕制完主绕组与灯丝绕组后，绕制表面已经凸凹不平，所以高压绕组应该尽量做到均匀绕制。高压绕组完成后，可视实际情况在外围包一层玛拉胶带，也可以省略不包。

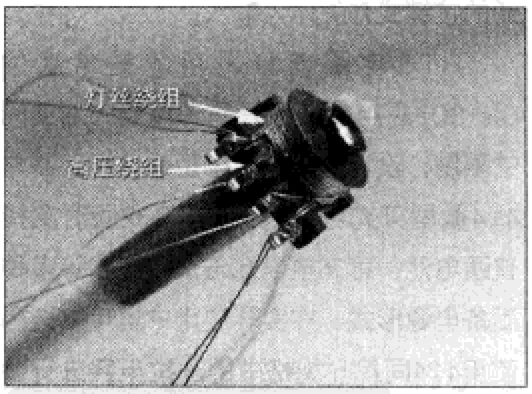


图8 制作高压绕组

6 安装磁芯

ER9.5磁芯为上下安装结构，将上下磁芯插入骨架后，使用玛拉胶带在磁芯外围紧绕几圈后固定，应确保上下磁芯对齐。当然也可使用胶水来固定磁芯或者使用配套的金属卡箍，不过ER9.5的金属卡

箍在零售市场上不太容易买到，所以一般建议在变压器测试完成后再进行最终的点胶固定。骨架点胶一般使用环氧树脂胶，要求胶水流动性要好，用胶要适量，点胶范围为E字磁芯的两端接触平面，磁芯中心点不要加胶。上胶后使用铁夹将磁芯夹紧并做最后的对位调整，然后静置至胶水固化。磁芯胶合后，再在变压器上方磁芯与骨架接触处点胶，固定骨架。使用胶水固定变压器的优点是可以避免变压器在使用过程中出现磁芯振动、移位或者发出噪声，所以条件允许的情况下尽量使用胶水进行最终固定。

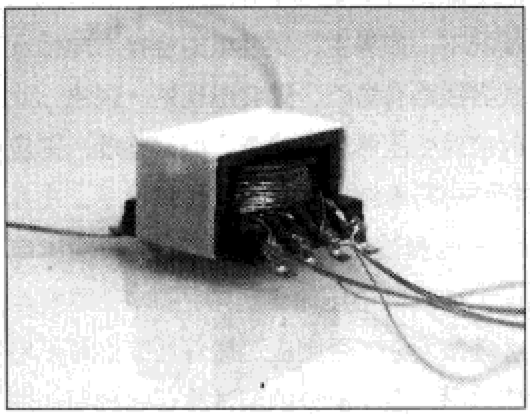


图9 磁芯安装

焊接注意事项

由于本设计使用的零件比较多，且基本是贴片零件，尺寸小、对焊接温度敏感，所以在焊接过程中必须特别注意，防止损坏。

首先应当注意在焊接前应先使用棕色耐高温胶带将所有未使用的焊孔遮盖起来，防止上锡，影响直插零件的焊接，这里主要需要保护的就是上下两行屏幕引脚的插孔及红外接收、CDS零件插孔以及2.54排针插孔，插孔的两面都需要贴胶带进行保护。

其次是零件的焊接顺序，一般建议是先焊接正面的零件，然后焊接背面的零件，先焊接表贴零件，后焊接直插零件。本制作的印制电路板双面都有待安装的零件，所使用的VFD显示屏又是双列直插式结构的，也就意味着在VFD显示屏下方的

7 测试及引脚焊接

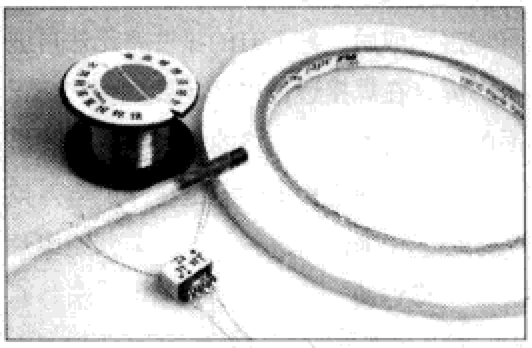


图10 制作完成后的变压器

制作完成后的变压器，可根据需要使用油性笔在其上标注相关引脚信息、线圈匝数等，本制作的变压器可以通过引脚情况简单判断出主次引脚，所以也可以不进行标注。引脚上保留的线头可用于测试，如果变压器测试无问题，可使用烙铁对骨架引脚上锡（上锡前可在引脚上先上一层松香，可在焊接过程中起到漆包线脱漆功能。如果绕制熟练，无需测试的话，也可在绕制前先将漆包线上锡后再绕在骨架引脚上，便于最后上锡）。由于这里使用的是直焊型漆包线，所以上锡的温度应与漆包线脱漆温度相配合，典型情况下不超过300℃的温度都可成功焊接。引脚上锡完成后，剪去引脚上多余的漆包线，再用万用表简单测试一下各绕组的通断情况，如无异常，即完成变压器的制作。

8 变压器测试与改进事项

典型情况下，变压器正确安装后，如果出现频繁死机等现象或者驱动管严重发热，则应该仔细检查变压器绕组是否绕制正确。如果确定绕制正确，单变压器依旧工作不正常，可使用以下几种改进方法：第一种是将磁芯主轴部分稍微磨去一些，通过增大变压器气隙，来增大伏秒容积，防止磁芯进入饱和状态，其次是通过增加绕组匝数来解决。根据骨架尺寸及实际测试，主绕组可以增加到最大12T，其余绕组可按比例增加匝数。最后还可以在变压器外围围绕一圈屏蔽铜皮，以减少EMI干扰。

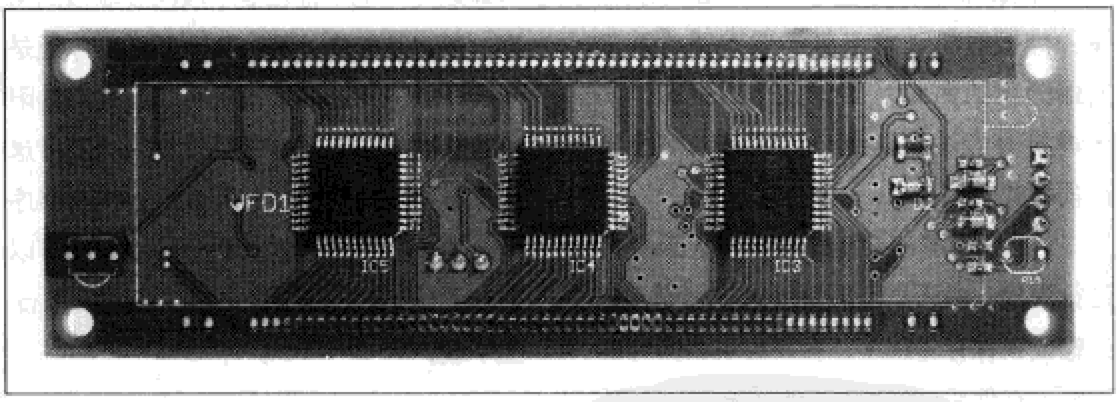


图11 PCB正面零件的安装

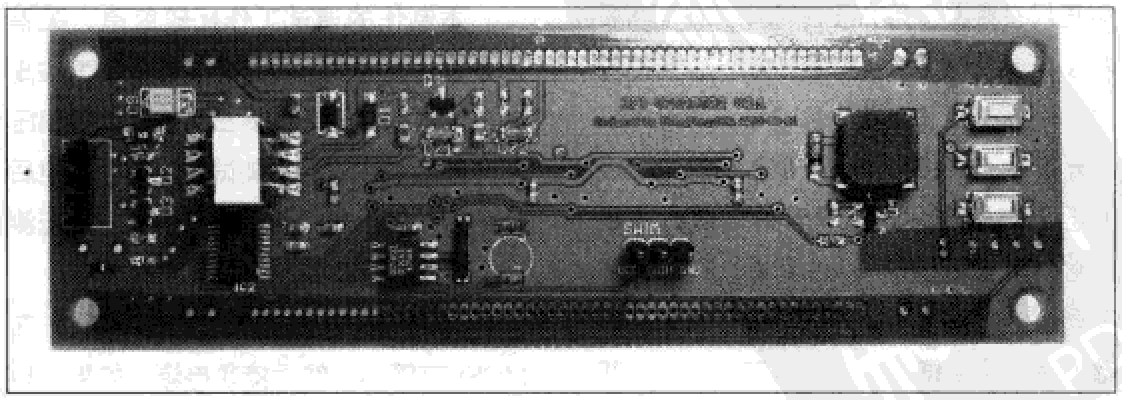


图12 PCB背面零件的安装

元件必须确保焊接正确，否则当VFD显示屏焊接完成后，其下方的零件将无法再进行拆焊。在焊接过程中一定要确保PCB正面的3片STF16360电路的焊接质量，焊接完成后最好使用简单的测试程序配合万用表进行逐脚确认，这一点很重要。如果对应输出脚导通，输出电压为+5V，未导通时，输出为负电压－VEE。

PCB背面零件焊接过程中，应当特别注意的是单片机部分与变压器部分。单片机的封装为TSSOP20，各引脚间距比较小，要防止产生焊锡粘连，变压器部分的焊接建议先使用绕制时保留的线头，将它焊接到焊盘上，先进行测试，调试工作完成后，再焊下线头，剪去后，再将变压器正式焊接到PCB上。这样做的好处是一旦变压器存在绕制问题，需要拆下重新处理时，拆焊线头比一次性拆焊整个变压器要容易很多。

在焊接RTC电路时需要注意的是，在焊接RB414可充电电池时，焊接温度要低，焊接速度要快，否则很容易损坏充电电池。同时在制作中考虑到尺寸的限制，备选的DS1302所使用的32.768kHz晶体振荡器采用的是MC146型超小封装，焊接时要注意引脚不要弄错，其中前端分离的两脚为晶体振荡器引脚，同时焊接时应注意温度与焊锡量，防止出现损坏或短路。

VFD显示屏应在电路板调试无误后再进行焊接，由于显示屏引脚为软引脚，在运输或者保存过程中，容易出现引脚弯曲现象，在使用前应先进行整平操作，一般如存在整片引脚弯曲的现象时，则建议使用直尺在桌面上用力压住整片引脚，然后将引脚调节到位，如果仅有个别引脚弯曲，则使用镊子恢复到位即可。同时由于显示屏的引脚相当密集，插入印制电路板时会出现困难。这里推荐的安装方法是先倾斜放置VFD屏，从左到右，逐一将屏幕两侧的上下引脚插入PCB中，插孔过程最好使用尖头镊子配合，要有耐心。全部正确插入到位后，使用胶带先简单固定一下显示屏，然后先进行简单测试，方法是PCB通电后，沿侧面斜推显示屏，使其引脚与插孔内壁接触，此时可观察显示是否正常，如无误，则可以进行引脚焊接。引脚焊接时需特别注意不要出现焊接粘连现象。

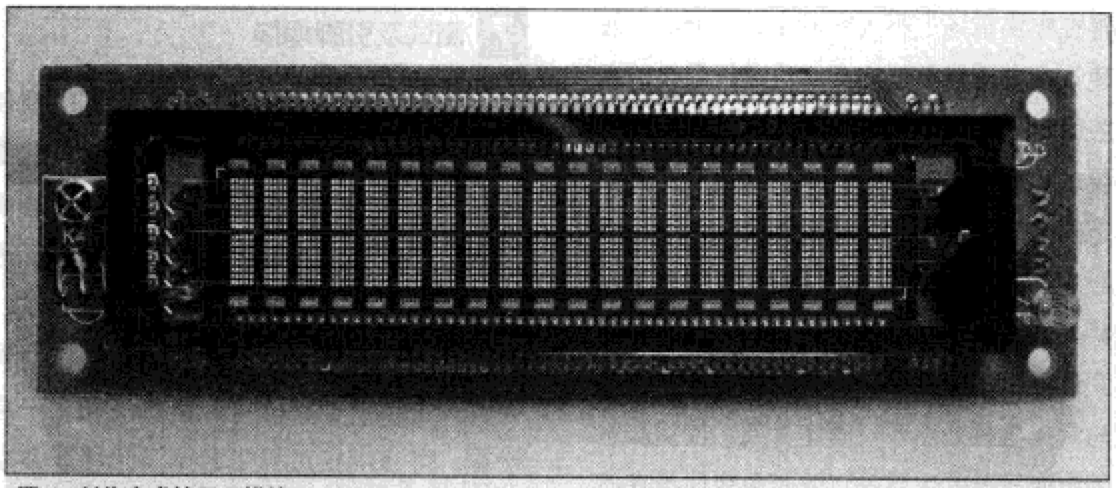


图13 制作完成的显示模块

软件设计

从基础显示的软件设计方面来看，本制作采用的VFD点阵字符屏的扫描显示原理与普通的VFD扫描屏在显示时序上并无特殊之处，也不存在显示段跨多栅极的情况。所以从总体上看，整个扫描时序还是常规型扫描。此屏突出的特点就是它的阳极数量较多，所以在代码设计中需要考虑到尽量将代码写得快速有效，以提高程序运行的效率。具体的代码分析和程序可以到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

制作调试

本制作的调试工作比较简单，关键点是确保高频变压器正常工作。PCB在高频变压器的几个关键输出点及后部的稳压部分都增加了对应的测试点，可在加电后使用万用表对这几个测试点的电压进行测试，看是否达到要求。

电路初次通电前应先用手按在MOSFET管上，然后接通电源，如果几秒内发现MOSFET管剧烈发热，则应立即切断电源，检查变压器有无绕制错误。典型情况下，如果主、次绕组的绕接方向相反或者线路有短路，则会出现这一现象，此时应对变压器进行检查，如有问题，则应拆开进行重绕。在正常工作情况下，在几个电压测试点上都应该有正确的输出电压，如灯丝电压输出正常，则VFD屏灯丝会轻微发红，否则应测量灯丝绕组有无电压输出。高压部分的测试原理也相同，注意测量一下变压器输出的高压与稳压后输出的高压是否正确即可。

如果上电后发现屏幕亮了几秒后即熄灭，且MOSFET管开始发热，故障原因有可能是高压整流部分的二极管耐压不足击穿，更换成高耐压的二极管即可。

本制作软件部分无需调试，只要硬件安装正确，通电后即可正常工作。

结语

通过本制作，设计并实现了一个简单且价廉的VFD电压驱动方案，学习了简单反激变压器的设计及驱动知识，不仅丰富了自己的电子制作经验，更为今后的电子制作打下了基础。

在这里，也希望读者能够通过学习实践，将其中的电路知识应用到自己的电子制作中去，通过实际操作，不断提高自己的电子制作水平，获得更多的制作乐趣。

四时段倒计时提示器

◇周宝善

几年前，笔者曾给北京市教委校外基本功竞赛组委会做过一款15min倒计时提示器，制作要求是：计时开始，蜂鸣器响一声，然后开始15min倒计时，在剩余1min时，蜂鸣器“嘀”、“嘀”响两声作为提示，计时时间到，蜂鸣器将“嘀”、“嘀”、“嘀”响多声，计时误差小于2s。据评委专家反馈，使用效果非常好。

现又有相关竞赛需要用到类似的倒计时提示器，制作要求是：可设定15min、30min、45min、60min共4个倒计时时间段。在每个倒计时内，在剩余1min时，蜂鸣器“嘀”、“嘀”响两声提示，计时时间到，蜂鸣器将“嘀”、“嘀”、“嘀”响多声，因此笔者又设计了这款四时段倒计时提示器。其电路原理图如图1所示。具体制作过程如下：

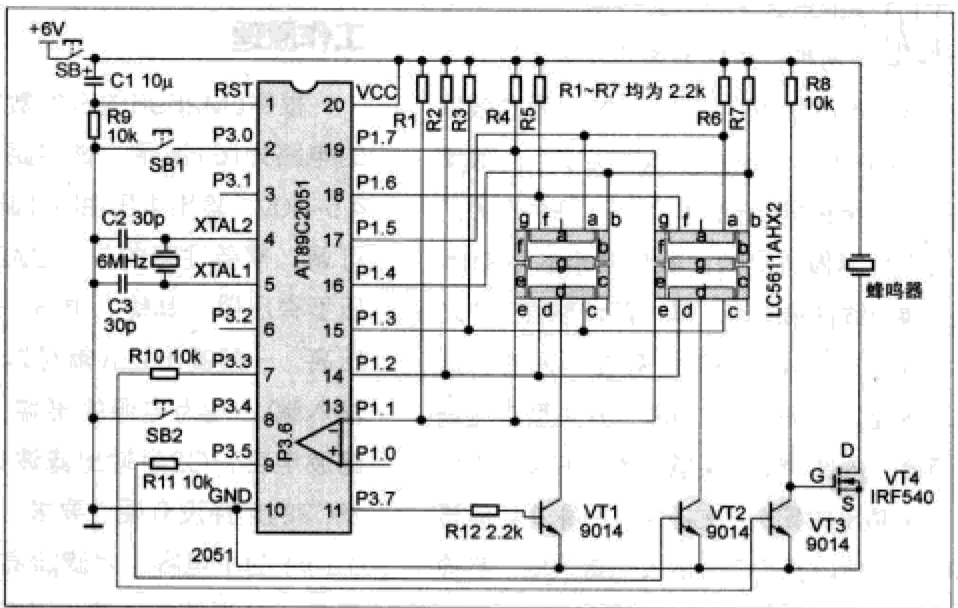
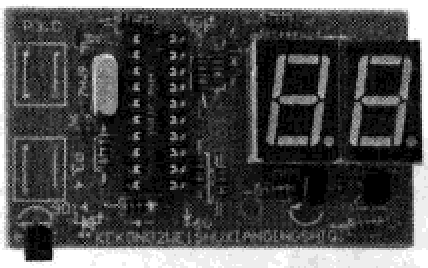
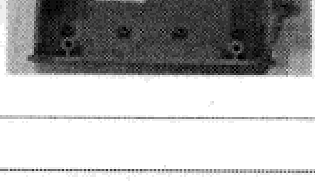


图1 电路原理图

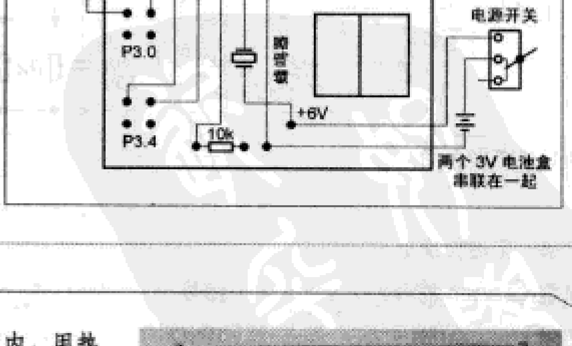
第一步：制作电路板，数码管一定要安装得高一些，安装高度为刚好不需要剪断它的引脚，10μF电容可安装到电路板的背面，这一步中先不安装按钮、发光二极管、电池盒。



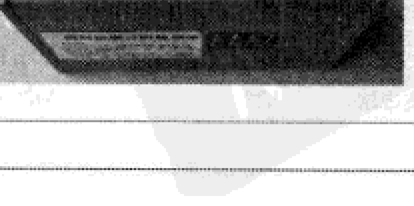
第二步：制作外壳，方孔的位置在盒子中央偏左侧（从内部看），方孔尺寸为26mm（长）×20mm（宽）。



第三步：连接电路板与各开关、蜂鸣器、电池盒线路，IRF540为一只N-MOS管，用作大电流电子开关，原电路板发光二极管处安装10kΩ电阻器，考虑到盒内空间有限，电源可用两个3V电池盒串联起来。



第四步：编写51单片机程序到AT89C2051芯片内，用热熔胶将电路板固定在盒子内，在盒子外部粘贴相应使用说明，用螺丝钉拧紧外壳，即可投入使用。



■ 四时段倒计时提示器的单片机源程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

简便易用的1.5~30V可调电源

◇张松峰

作为一名工科电子类的学生或者工作者，在平时的实践或者工作中，我们经常会用到不同的电压值，比较常用的有3.3V、5V、8V以及12V等标准电压。对这些电压的需求可能还要是多路的，必要时我们可能还需要连续可调的电压，以便测定系统的工作情况。为了方便实验及使用，笔者基于LM2596制作了一个1.5~30V电压连续可调的开关型电源。该电路结构简单，对初学者来说很容易上手，且只要线连对，不需调试即可成功。即便你是一只很“菜”的“菜鸟”，只要你有动手的欲望，看了这篇文章，也一定可以做出一个方便实用的可调开关电源，其电压调整率及负载调整率都非常理想。

现在的电源主要有线性电源和开关电源两种，线性电源的效率比较低，一般只有30%~40%，而开关电源的效率在70%~80%，最高可达90%以上。效率高就意味着同样的散热条件，开关电源的功率可以做得更大。我们常用的78XX系列属于线性稳压器，其内部调整管工作在线性状态，输出电流一般在1A左右，且发热量大。而LM2596属于开关型电压调节器，内部功率开关管工作在开关状态，开关频率固定为150kHz，本身消耗能量很小，所以整个芯片的发热量很低，且输出电流大，LM2596的输出电流可达3A。

工作原理

根据LM2596的官方数据手册设计的电路如图1所示。该电路输入电压在4.5~40V，输出电压由RP1调节，且连续可调。需要注意的是，LM2596属于降压型稳压器，其输入电压一定比输出电压高，一般高出1.5V就可以。P1为电源输入端，P2为电源输出端，C1为输入滤波电容，C2为输出滤波电容，对C1及C2的选择没有硬性要求，可以再加个0.1μF的小电容，对滤除高频信号效果更好。L1为储能电感，感量为33μH，要选择功率电感，负载的电流都是要从它上面流过的。VD1为防输入电源反接二极管，当输入端正负极接反时，由于VD1的单向导电性，输入端将不会形成回路，对电路起到保护作用。VD2为续流二极管，在2596内部开关管截止期间，L1储存的能量通过VD2向后级供电，以保证输出电压的稳定。输出电压的大小由*R*1与*R*2//*R*3//*RP*1的比值决定。作为实验用电源，R2、R3可以不接，只接RP1，通过调节RP1来调节输出电压的大小。根据LM2596数据手册的说明，其输出电压 $V_{OUT}=V_{REF}\left(1+\frac{R1}{R2//R3//RP1}\right)$，其中

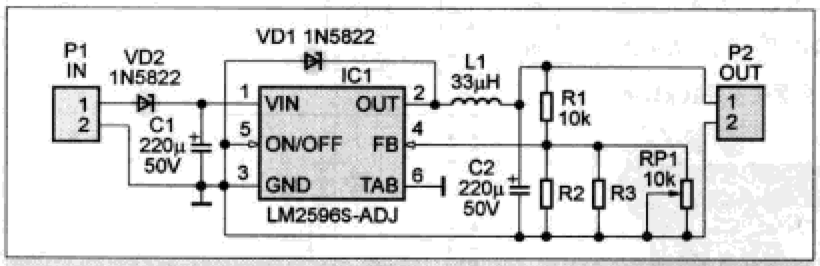


图1 电路原理图

附表 元器件清单

类型	标号	型号	封装
电阻	R1	10kΩ	0805型
电阻	R2、R3	根据需要选择	0805型
电位器	RP1	10kΩ	3296型
二极管	VD1、VD2	IN5822（SS34A）	SMA
电容	C1、C2	220μF/50V	贴装
集成块	IC1	LM2596S-ADJ	TO-263

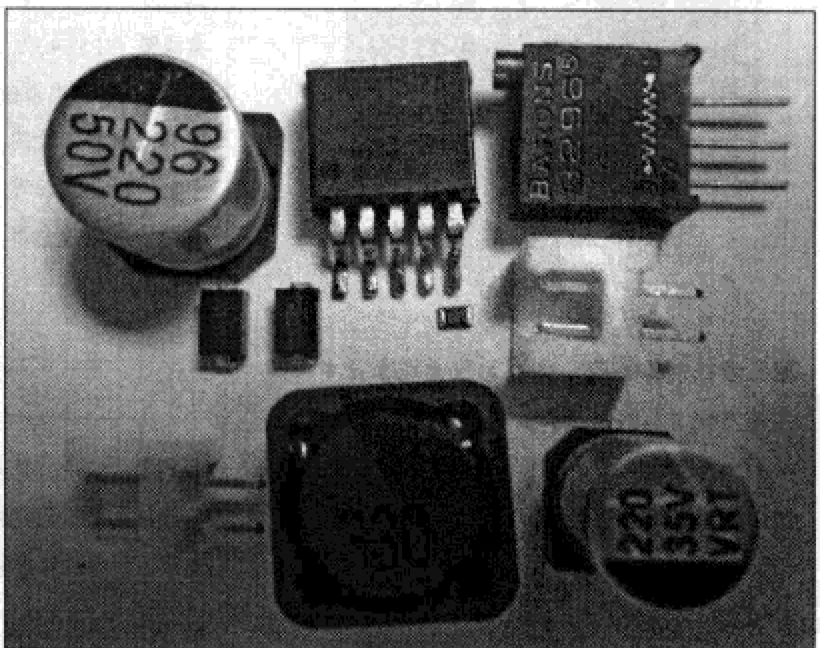


图2 元器件全家福

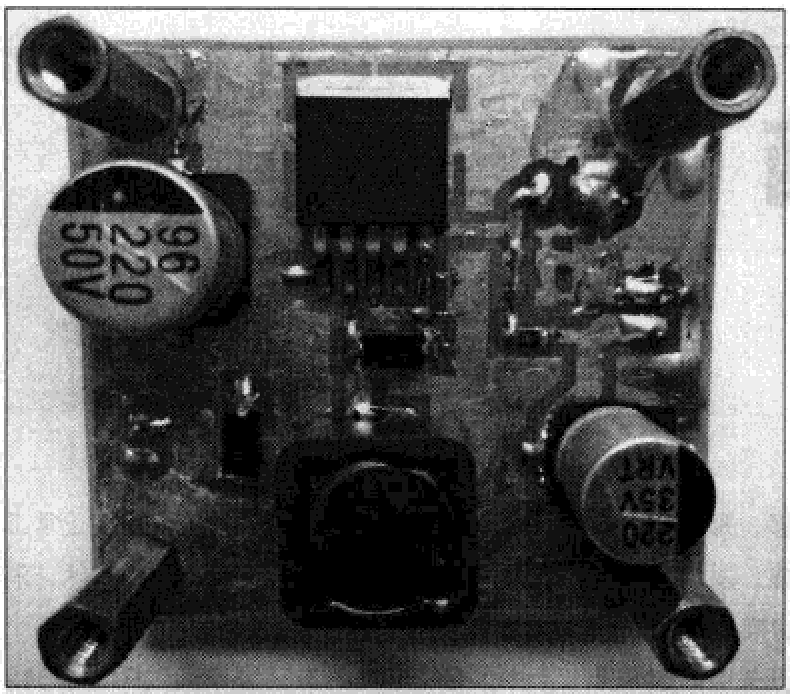


图5 焊好的PCB反面

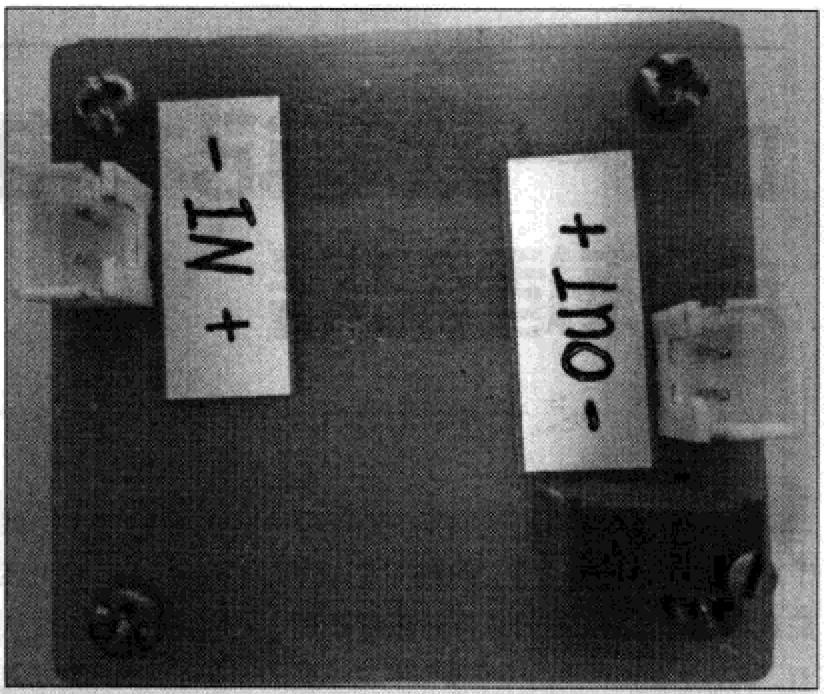


图6 焊好的PCB正面

V_{REF}=1.23V，如果需要固定输出，则可根据这个公式计算出所需的阻值，用固定电阻焊在R2及R3的位置。设置R2和R3两个电阻是考虑到可能需要的阻值不是标准阻值，则可用两个电阻并联出来。这样，在P2输出端则可获得需要的电压，方便实用。

制作说明

有了原理图，下面就开始制作电路啦。电路元器件清单如附表所示，元器件种类不多且都很简单，即便你是一只菜鸟也不用担心做不成功。“全家福”如图2所示，所用元器件除接插件外，都是贴装的，二极管的型号是SS34A，这是贴片型1N5822的代码。电阻R1、R2、R3选的是0805封装，电容C1、C2是贴装的铝电解电容，接插件是XH2.54型的，LM2596选的是TO-263的封装。

电路的PCB布线如图3所示，做的板子是单面板，走线在顶层（当然也可以走底层）。元器件布局上电感应尽量靠近LM2596，电源线应走宽线。板子做了铺铜处理，并连接在地上，这样可以增大接地面积。这个电路走线比较简单，做PCB时笔者用的是热转印的方法（热转印纸在网上可方便购买到），做好的PCB如图4所示，接插件插针孔的大小是内径0.9mm，电位器引脚孔的大小是内径0.7mm，定位孔的大小是内径3.6mm。

在用热转印法做PCB时有以下两点需要注意：

热转印后要检查转印的效果，如果有断线，应用油性记号笔（文具店都有卖）进行修补。

用三氯化铁腐蚀时，应保持三氯化铁溶液温度不低于50°，这样可提高腐蚀速度。

剩下的就是焊接工作啦。焊接前应对线路部分过锡，这样不仅可以防止铜层氧化，还可以增加铜线的载流量。如果你有热风枪，LM2596、电感和0805电阻可以用热风枪吹上去（直接用烙铁焊当然也可以），但是电容一定不要吹，否则会把电容下面的塑料垫吹化。接插件和电位器可以从没有走线的一面插进去焊接。焊好的电路如图5和图6所示，在正面（板子的非走线面）贴上标签，标上正、负端，以方便使用。电路的PCB项目文件（AD类型）可从《无线电》网站www.radio.com.cn下载。

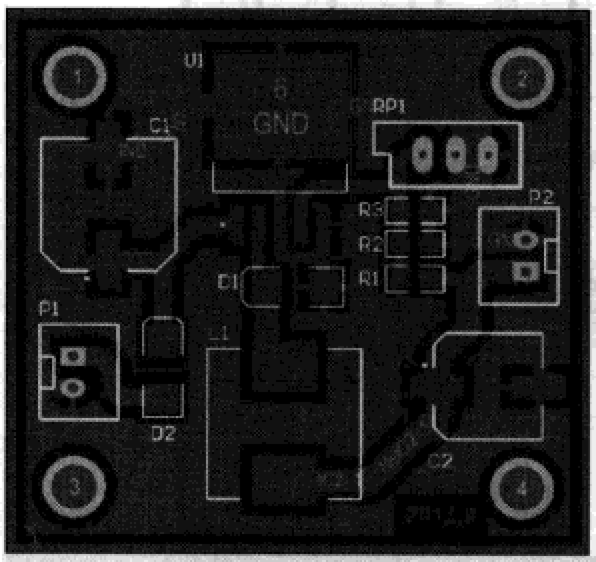


图3 电路的PCB布线

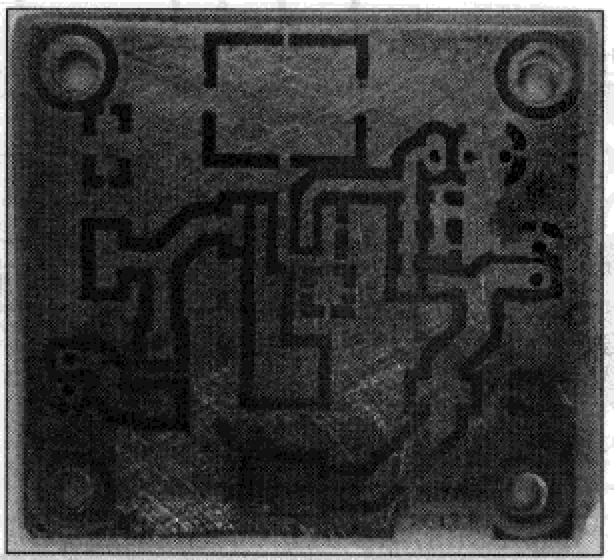
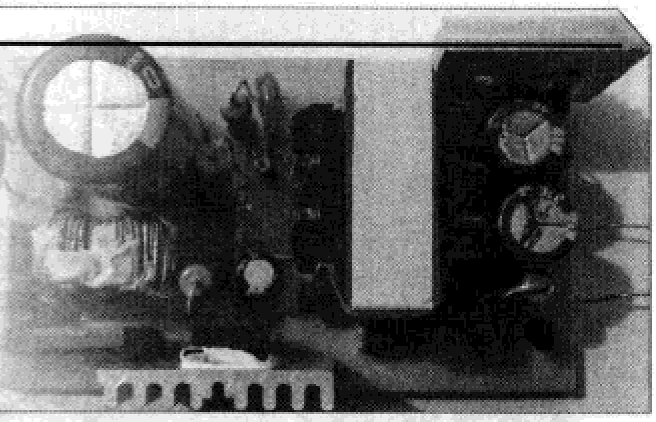


图4 制作好的PCB

DIY一款笔记本电脑电源适配器



◇任杰

前段时间，“服役”了4年多的笔记本电脑突然黑屏了，仔细一看，适配器不亮灯了。于是打算拆开适配器看看，无奈这种塑料壳的适配器似乎是一次成型的，没有螺丝孔，不好拆，只好采用暴力的方法砸开了。拆开后；这个电源也作废了。为旧笔记本电脑买个新适配器又觉得没有必要，于是想到自己做一个。

原装的适配器是19V/4.75A的，功率达到90W，再看看手头的磁芯，只有EI30和EI40，做90W适配器的话，不是太小就是太大，于是打算降低一点标准，将功率降到70W左右，

用EI30的磁芯，反正笔记本电脑的电池也已经基本报废了，不用充电的话，这个功率应该够用了。

反激式开关电源对我来说也不算陌生了，可选的方案也非常多，那么就尽量就地取材。打开我的元件盒，发现了两片UC3845，以前从TI申请的样片，搁置已久了。这个片子算得上是开关电源的“鼻祖”了，尽管它很多方面的性能已经跟不上时代了，但据说凭借其极高的稳定性，仍然在市场上占有一席之地，那么这次就用它了。

电路原理

不多说了，直接给出这次制作的原理图，如图1所示。由于这个电源的功率比较大，输入滤波电容也比较大，因此在开机瞬间会有一个很大的浪涌电流。为了减小这个电流对整流桥的冲击，输入端增加了一个负温度系数的热敏电阻（R7）。在上电瞬间，这个电阻呈现出较大的阻值，能够有效抑制浪涌电流，而在正常工作下，这个电阻温度升高，阻值下降，消耗的功率减小。

UC3845的振荡频率通过R11和C12设定，由于UC3845内部有一个二分频电路，因此输出的开关频率为振荡频率的1/2。开关频率的估算公式如下：

$$f_{SW}=\frac{1.72}{2R11C12}$$

按照图1所示进行取值，开关频率在100kHz左右。由于开关频率决定了变压器的参数，因此，对于以下的制作，不能随便改动这一参数。电路仍然采用TL431作为基准和误差放大器，不需要UC3845内部的误差放大器提供增益。因此C8、R14和R16将UC3845内部的误差放大器配置为增益为-1的反相放大器。其余部分的

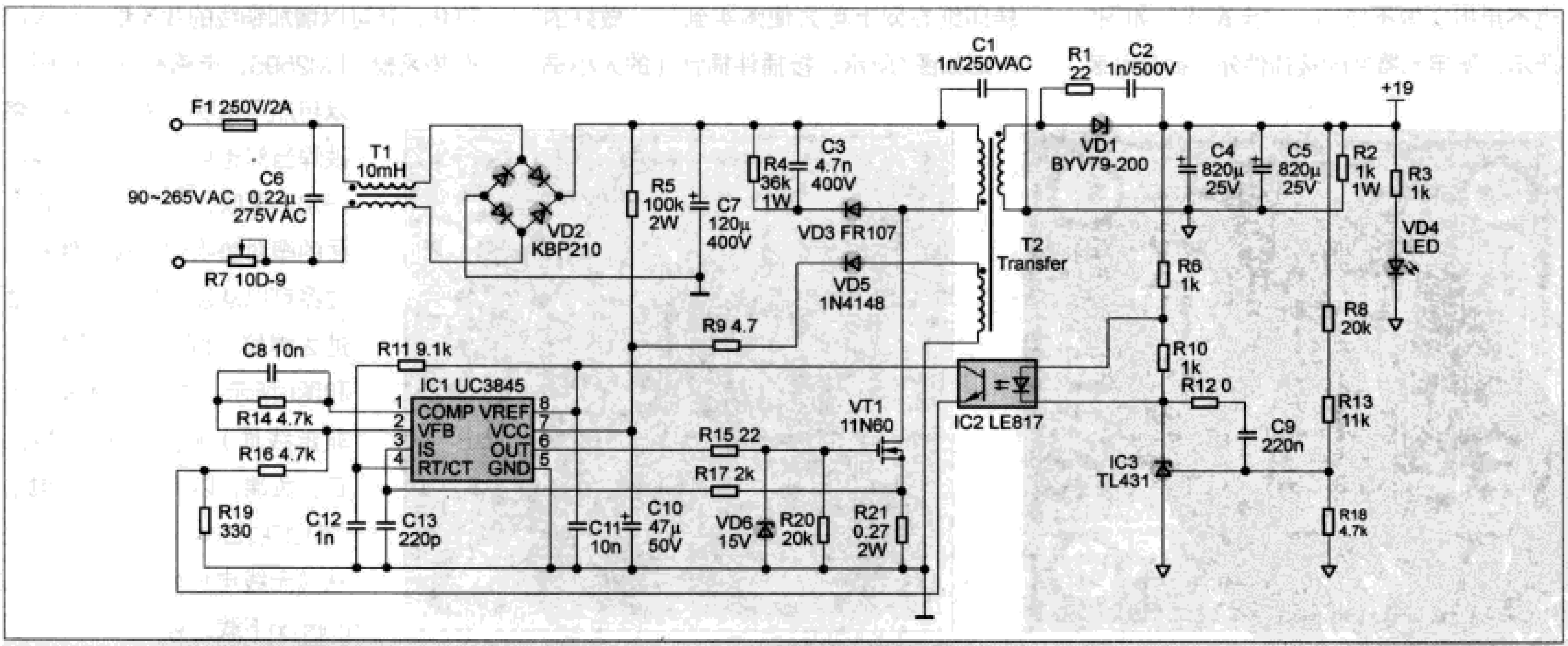


图1 70W笔记本电脑适配器原理图

电路与典型的反激式开关电源拓扑完全一致，这里不再赘述。

元器件选择

表1给出的是元器件详细清单，为了减小体积，所有低压部分的电容、电阻均采用0603的贴片器件。用于输出电压采样的R8、R13、R18、R11尽量选择1%精度的电阻，防止输出电压和振荡频率出现大的偏差。所有的贴片电容选用X7R或以上规格的，Y5V规格的容差太大，特别是用于振荡频率设定的C12，最好选用NPO规格的，以满足振荡频率的精确设定，并减小随温度的漂移。

R5用于启动期间为UC3845供电，由于UC3845的启动电流较大，因此R5的阻值不能过大，对于输入90～265V的应用，阻值最好不超过220kΩ。R5上要承受接近1.4倍线电压的值，因此必须满足一定的功耗和耐压要求，取值100kΩ左右时，耗散功率要求2W以上，取值220kΩ时，则要求1W以上。

正常情况下，UC3845会在9V左右开始启动，但是出于安全考虑，C10的耐压最好保证在35V以上，这样才能保证不会有击穿的危险，因为UC3845的VCC端内部有一个34V的齐纳二极管用于钳位。

R21用于输出的过流保护，阻值的选取与变压器的参数、开关频率以及线电压有很大的关系。在变压器参数和开关频率确定的情况下，线电压越高，输出过流保护的阈值电流就越大，为了限制输出功率，应该适当增加R21的阻值。表1中给出的R21阻值是0.27Ω，在220V输入时，大约会在输出电流4.5A时进入过流保护，这个参数也是我比较满意的。

R4与C3用来吸收MOSFET漏极尖峰，参数与变压器的漏感有很大关系，漏感越大，要求C3的容量越大。实际操作时，应该根据测试得到的尖峰电压适当调整C3和R4的值，保证在265V输入时开关关断瞬间，MOSFET的漏极电压不会超过开关管耐压的90%。

表1 元器件清单

型号	名称	器件标号	封装	数量
1nF/250VAC	安规Y电容	C1	插件陶瓷封装	1
1nF/500V	高压陶瓷电容	C2	1206	1
4.7nF/400V	高压陶瓷电容	C3	插件陶瓷封装	1
820μF/25V	铝电解电容	C4, C5	10×20插件	2
220nF/275VAC	安规X电容	C6	插件塑封	1
120μF/400V	铝电解电容	C7	18×30插件	1
10nF/50V/X7R	贴片陶瓷电容	C8，C11	0603	2
1nF/50V/NPO	贴片陶瓷电容	C12	0603	1
220pF/50V/NPO	贴片陶瓷电容	C13	0603	1
220nF/25V/X7R	贴片陶瓷电容	C9	0603	1
47μF/50V	铝电解电容	C10	6×12插件	1
BYV79-200	快恢复二极管	VD1	TO-220AC	1
KBP210	整流桥	VD2	塑封插件	1
FR107	快恢复二极管	VD3	DO-41	1
颜色不限	发光二极管	VD4	3mm插件	1
1N4148	开关二极管	VD5	SOD-323	1
15V/0.5W	稳压二极管	VD6	1206	1
250V/2A	保险丝	F1	玻璃管插件	1
FCPF11N60	MOSFET	VT1	TO-220	1
22/0.5W/5%	插件电阻	R1	插件	1
1kΩ/1W/5%	插件电阻	R2	插件	1
1kΩ/5%	贴片电阻	R3，R6，R10	0603	3
36kΩ/1W	插件电阻	R4	插件	1
100 kΩ/2W	插件电阻	R5	插件	1
20kΩ/1%	贴片电阻	R8，R20	0603	2
4.7Ω/1%	贴片电阻	R9	0603	1
9.1kΩ/1%	贴片电阻	R11	0603	1
0	贴片电阻	R12	0603	1
11kΩ/1%	贴片电阻	R13	0603	1
4.7kΩ/1%	贴片电阻	R14，R16，R18	0603	3
22/5%	贴片电阻	R15	0603	1
2kΩ/5%	贴片电阻	R17	0603	1
330/5%	贴片电阻	R19	0603	1
0.27/2W	插件电阻	R21	0603	1
10D-9	热敏电阻	R7	插件	1
10mH	共模滤波器	T1	插件	1
EI30磁芯+骨架	变压器	T2	立式插件	1
UC3845	PWM控制IC	IC1	SOP-8	1
EL817	光耦	IC2	DIP-4	1
TL431	可调基准	IC3	TO-92	1

变压器制作

又到了关乎成败的关键步骤了。首先给出变压器的各项参数：

- ◆ 磁芯尺寸：EI30
- ◆ 初级绕组线圈匝数：φ0.6mm×1 28T
- ◆ 次级绕组线圈匝数：φ0.6mm×3 8T
- ◆ 辅助供电绕组线圈匝数：φ0.29mm×1 7T
- ◆ 初级电感量：210μH±5%

相信大家看到上面的参数就会很高兴的，初级绕组才区区28T。我们量

一下EI30磁芯的骨架窗口长度，大约是14mm，对于直径0.6mm的漆包线，最大外径超过0.7mm，按照外径0.8mm算的话，一层能绕17匝，所以无论是初级还是次级，都没有办法在一层内绕完，因此要分成4层来绕。

首先绕制初级绕组。从骨架的第1脚开始，顺某一方向绕满一层后接着绕第二层，直至绕满28T后在骨架第3脚结束。由于第二层没有绕满，加上线径较粗，为了保持平整，方便后续绕组，可以在第二层没有绕满的位置缠绕具有一定厚度的绝缘胶带，市面上用于挡墙的胶带就很合适。

初级绕制完成后，缠绕3层绝缘胶带，然后从骨架第8、9脚开始顺同一方向绕制次级。次级为3股并绕，折算成单股的话是24T，平均每层12T。绕制的时候尽量居中密绕，留出边缘位置保证安全距离，次级绕满8T后至第10、11脚结束。

最后绕制辅助供电绕组。首先在绕完的次级绕组上缠绕3层绝缘胶带，然后从第6脚开始绕制，方向仍然不变。由于辅助供电绕组的电流很小，对线径没有严格要求，绕满7T后至第5脚结束，后缠绕3层绝缘胶带，将没有用到的多余引脚拔掉，变压器的绕制工作就完成了。

接下来的步骤相信大家也不陌生，那就是给变压器开气隙，采用磨气隙或者垫气隙的方式，使得最终的初级电感量在210μH左右，上下误差不超过5%即可。到此，变压器的制作完成，熟练的话，不到一个小时就能搞定这项工作。

PCB设计

万事已经具备，只差PCB的时候，我想谁也等不及将PCB送去打样，那么自己来腐蚀绝对是最为高效和廉价的，而在设计PCB时多花点时间，将PCB设计成为单面的，制作起来就更快了。图2给出的是笔者设计的PCB图，尺寸约85mm（长）×40mm（宽）。对于开关电源PCB，以下几点注意事项基本上是普适的：

- 需要加散热器的元件尽量放置在PCB边缘，方便安装。这些器件包括开关管、次级输出二极管和整流桥。
- 作为实验，不需要严格满足安规距离，但是初级高压部分尽量和低压部分之间以及初次级之间应尽量保持一定的间距。初级的高压部分包括整流桥之前的部分、滤波电容正极以及MOSFET漏极。
- 初级的功率地（MOSFET源极）和信号地之间尽量分开走线，采用单点的方式连接到输入滤波电容负极。

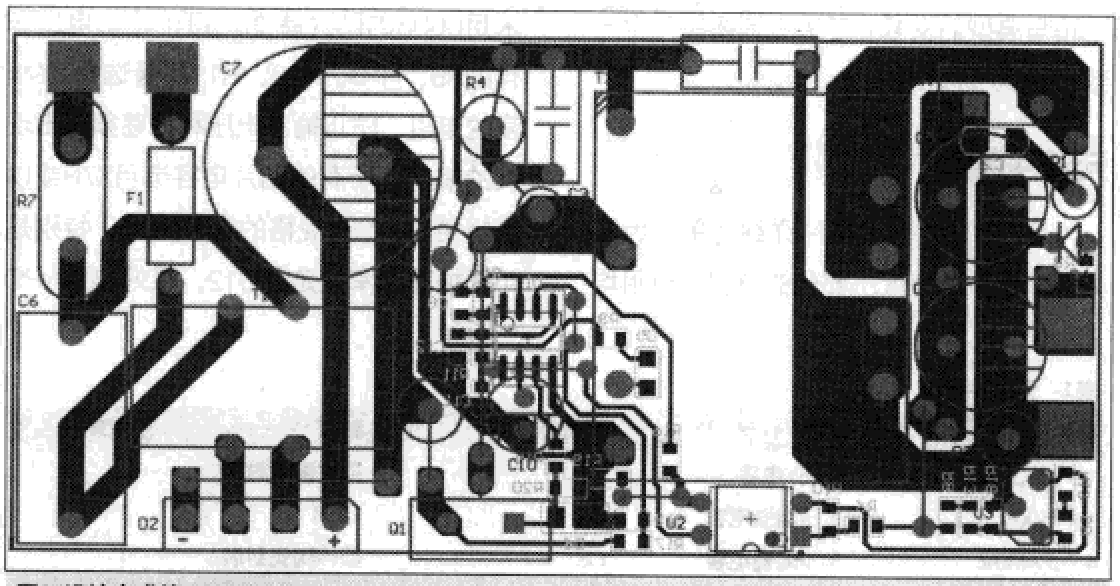


图2 设计完成的PCB图

焊接与调试

图3所示为笔者制作的样板实物图片，PCB上的共模滤波器是在原来的废旧笔记本电脑适配器上拆的。采用外径20mm的铁氧体磁环绕制，线径0.6mm，电感量约10mH。如果找不到这种封装的话，采用其他封装的尺寸可能要大一些。由于没有阻焊层和丝印层，焊接的时候注意不要焊错或者出现短路，焊接完成后仔细和PCB布局图进行核对，确保无误后再通电调试。

为了防止漏感尖峰导致开关管的损坏，调试的过程中，最好从最低输入电压（90VAC）开始上电，同时用示波器观察MOSFET的漏极和源极之间的波形。在进行这一操作时，务必注意两点：

1．示波器和开关电源的供电端必须

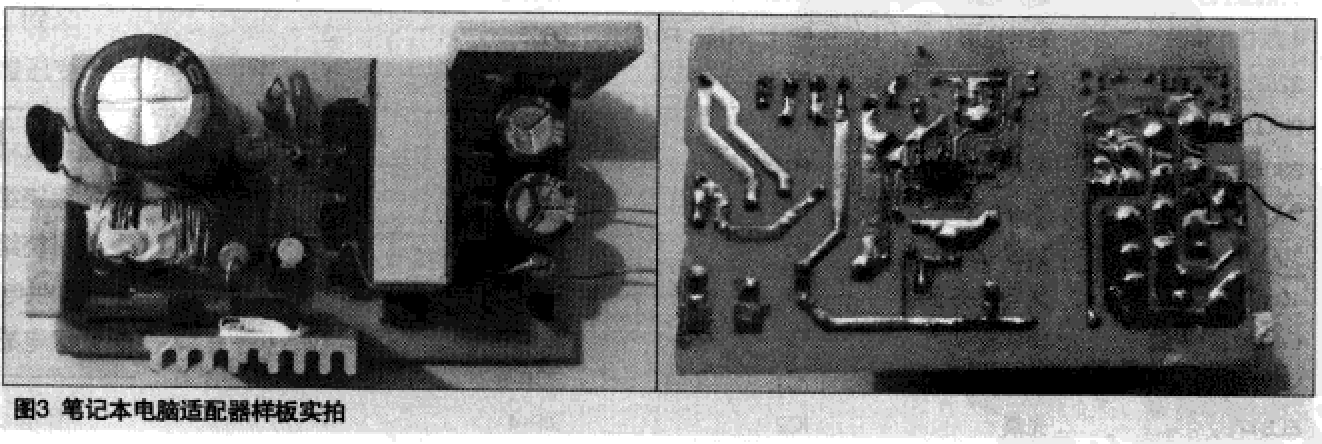


图3 笔记本电脑适配器样板实拍

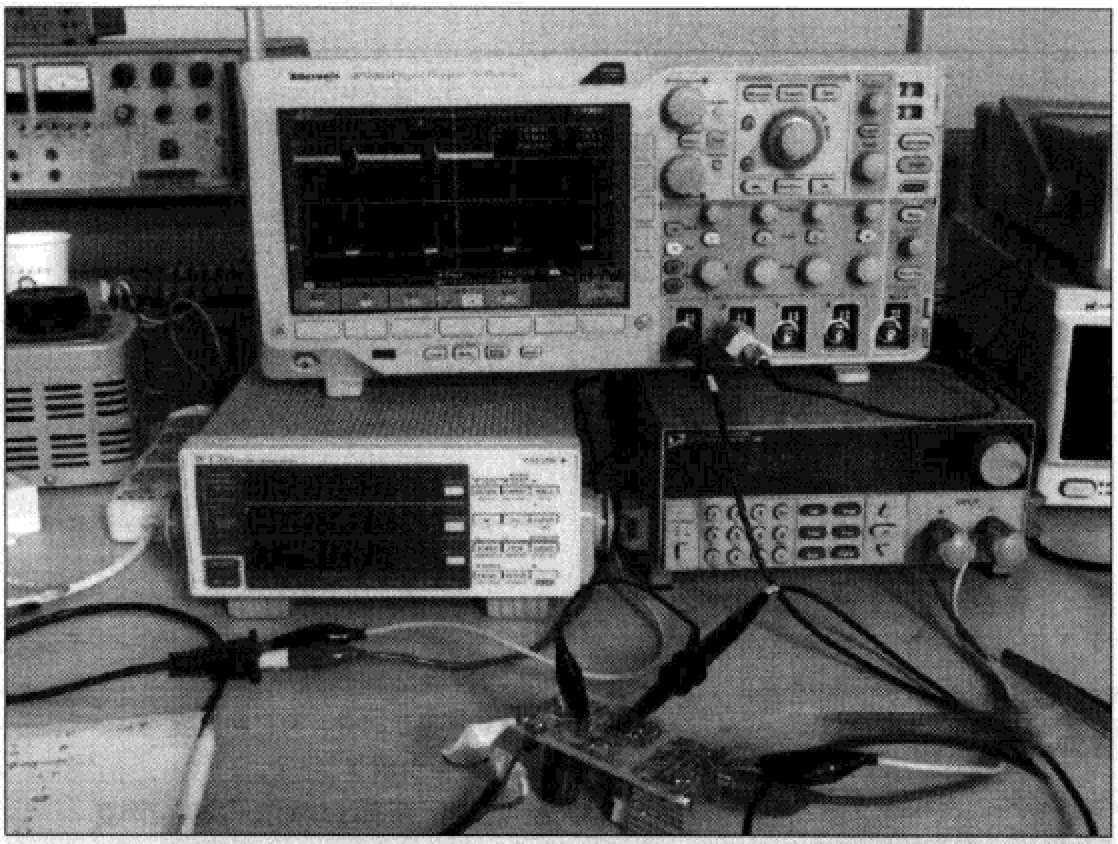


图4 尖峰电压测试现场

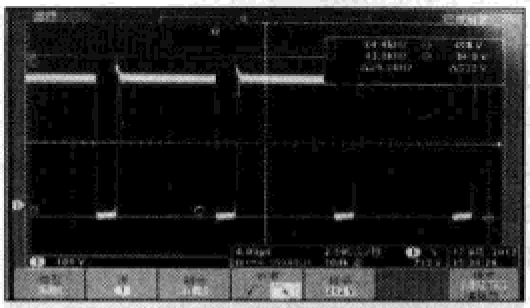


图5 实测最高输入电压和满载下的尖峰电压

有一组是与市电隔离的，否则示波器探头的接地端可能和大地相连。而零线在变电站和大地相连，会有造成短路的危险，损坏整流桥、保险丝，甚至是示波器。

2．务必使用高压探头，一般的探头耐压达不到要求，可能造成探头的损坏。

从示波器的波形中可以读出实时的尖峰电压值，并且波形会随着输入电压和负载的增加而变化。对于600V耐压的MOSFET，我们必须确保最高的尖峰电压低于耐压值，考虑到留出一定的余量，尖峰电压的最大值控制在550V以下。如果调试过程中，输入电压增加到一定值时，尖峰电压接近550V的话，此时应适当增大C3的容量，确保在最高线电压（265V）和满载情况下MOSFET的漏源之间电压低于550V。图4所示为开关管尖峰电压测试实拍，图5所示为实测的尖峰电压，在输入电压265V（最高线电压）和输出电流4A（轻微过载）时，尖峰电压约500V，可见MOSFET是十分安全的。

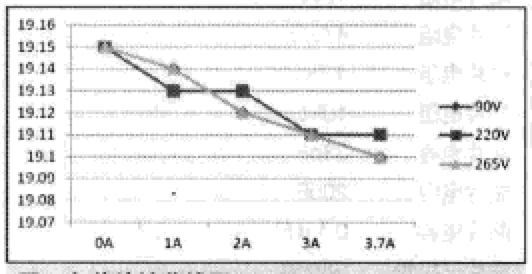


图6 负载特性曲线图

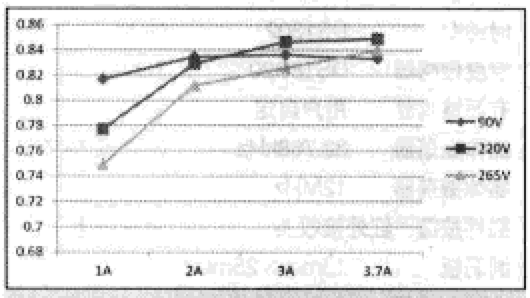


图7 不同负载下的效率特性曲线

表2 空载待机功耗

输入电压（V）	90	220	265
空载功耗（W）	1.70	2.59	3.06

测试与总结

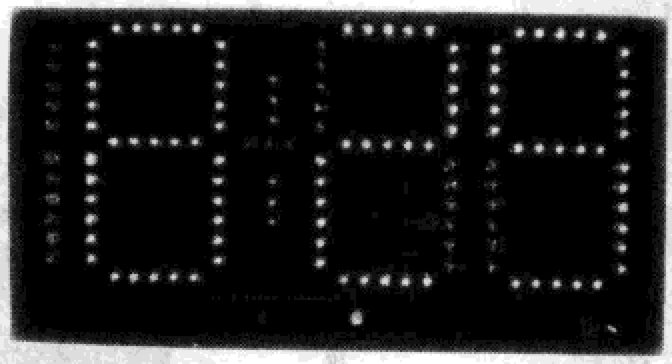
确保开关管的安全工作后，调试宣告完成，接下来对这个电源进行简单的测试，测试的主要目标是负载特性、效率和空载功耗。首先给出的是实测负载特性曲线，如图6所示，在全电压范围内，从空载到满载变化时，输出电压波动不超过50mV（其中90V和265V时的实测曲线完全重合），可见这款电源的负载特性是非常不错的。

接下来给出不同负载下的效率特性曲线和空载下的功耗数据，分别如图7和表2所示。不难看出，在轻载下，这款电源的效率偏低，待机功耗较大，满载下的效率对于这一功率级别的电源而言，也不算高。这一方面是因为UC3845要求的启动电流比较大，启动电阻R5消耗的功率较大。适当增大R5的阻值，可以稍稍降低待机功耗并提高轻载下的效率。另一方面，UC3845算是比较古老的片子了，内部结构较为简单，没有考虑对效率进行优化。

经过测试后，如果你的笔记本电脑电源是19V输入的，那么这款电源就可以用来给它供电了。使用之前务必注意，如果你的原装适配器标明的输出电流大于3.7A，使用这个DIY适配器时务必保证你的笔记本电脑内部电池电量是满的，或者干脆不使用内部电池，否则，这款DIY的适配器可能功率不足哦。另外注意，长时间满载工作的话，要适当增大散热器面积，将开关管和输出二极管的温升控制在一定范围内。

相信通过这一次的DIY，读者应该对开关电源有了更多的了解和更深的体会，笔者将继续摸索，自制出性能更加优秀的电源和大家分享。

1888时钟屏的制作



◇曹延焕

制作时钟屏的方法和元器件有很多，本文介绍的是一个用普通草帽白光LED“拼”出来的1888屏幕。可能有读者会认为这种显示屏的制作方式太常规、太普通、太烦琐，一百多个LED，一百多个贴片电阻，制作“工程”可不小，但这个设计不仅仅是用作显示时钟的，还有其独特之处，因此我将这个制作过程及我的思考与大家分享，希望这个设计的“亮点”能对大家有所帮助。

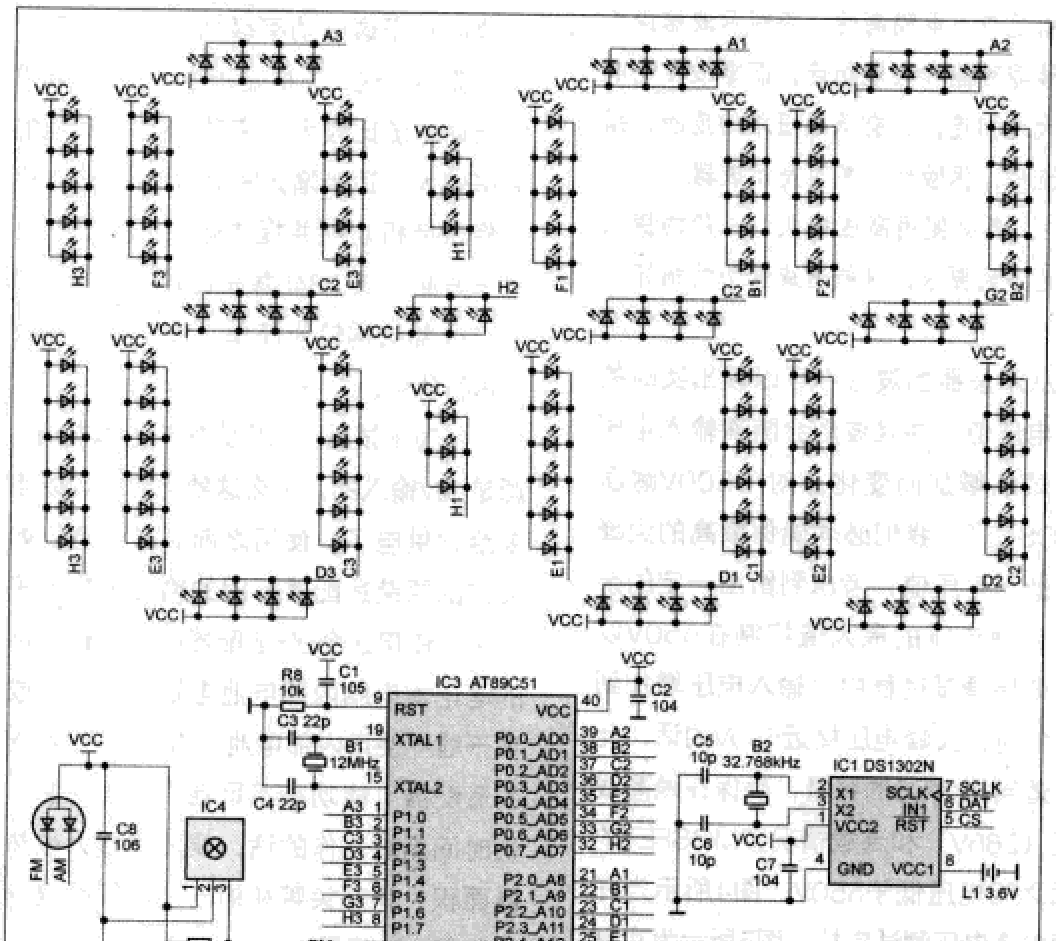


图1 整体电路原理图

TIPS

1888时钟屏的新颖亮点

◇ 循环切换显示时分、月日和温度
◇ 9级亮度自由调节
◇ 整点报晓，所有LED演示一次亮度渐变
◇ 7时至22时整点蜂鸣一次
◇ 随时间变化而自动亮度调节
◇ 上、下午以不同颜色LED指示
◇ 红外遥控单键操作设置和手动调光
◇ 加入按键提示音效
◇ 采用白光草帽LED设计，时钟屏可作照明设备
◇ 单键长按可设置时间，未设置时间时短按可手动调光，双击可用作照明设备
◇ 可根据用户需要自由扩展功能

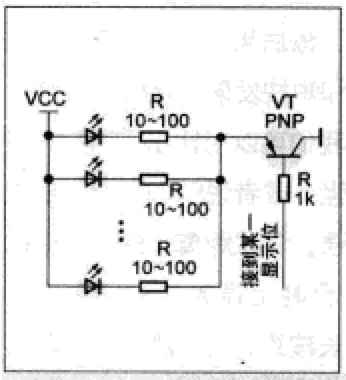
附表 制作材料清单

数量	物料名称	规格型号	备注
131	贴片电阻	10Ω	0603R
2	贴片电阻	470Ω	0603R
27	贴片电阻	4.7kΩ	0603R
1	贴片电阻	10kΩ	0603R
2	贴片电容	33pF	0603C
2	贴片电容	20pF	0603C
4	贴片电容	0.1μF	0603C
28	贴片三极管	S8550	SOT-23
1	双色LED	Φ5	可选其他
131	草帽白光LED	Φ5	建议选用白光
1	单片机	AT89C51	PDIP40
1	时钟IC	DS1302	DIP8
1	温度传感器	DS18B20	TO-92
1	有源蜂鸣器	用户自定	
1	晶体振荡器	32.768kHz	3×8或2×7
1	晶体振荡器	12MHz	49S
1	插件按键、红外接收头		用户自定
1	洞洞板	13mm×25mm	
1	5V输出电源	500mA输出	
1	MiniUSB座、USB线		用户自定

注：可替代AT89C51的单片机有STC89C51系列、AT89S51系列等。

制作材料清单与原理图

1888时钟屏的制作材料清单如附表所示，相关电路原理图如图1 、图2所示。如果使用普通数码管，对应显示部分的数码管电路如图3所示。



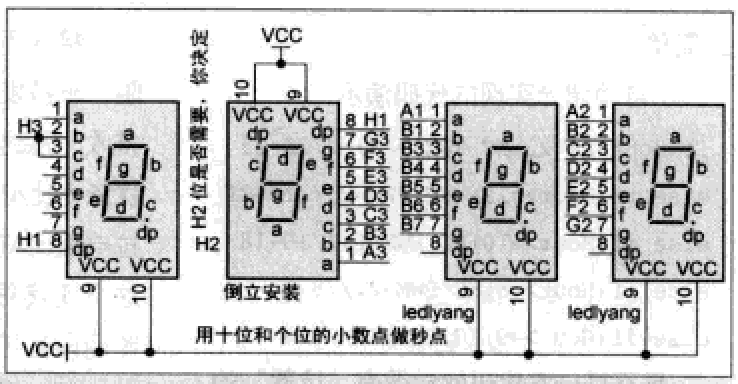
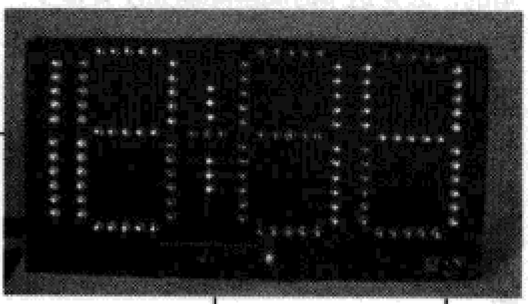
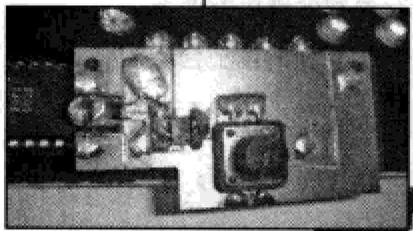


图2 多颗LED并联驱动电路原理图　图3 使用单体数码管时所用电路

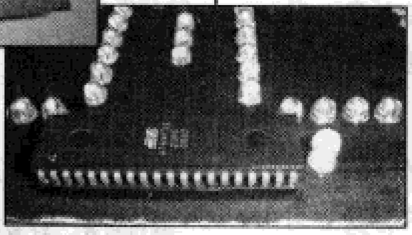
图解制作细节

虽然用数码管简单多了，但对于大面积的显示，小小的数码管显然是不能胜任的。下面我们就得面对这几百个元器件开始我们的制作之旅了。

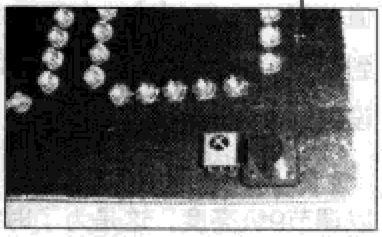




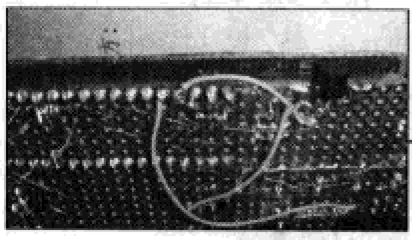
红外按键发射板



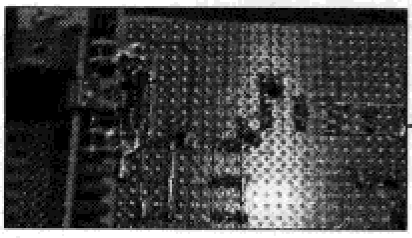
单片机最小系统特写



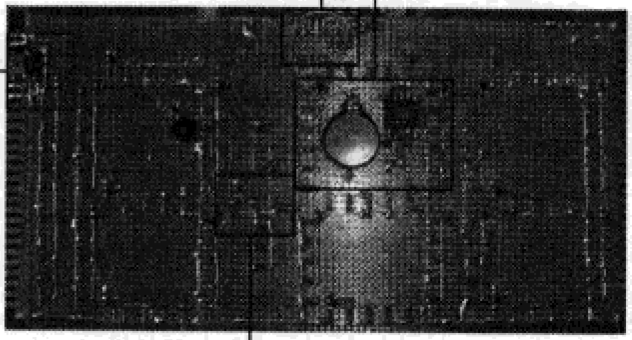
红外接收器件和按键

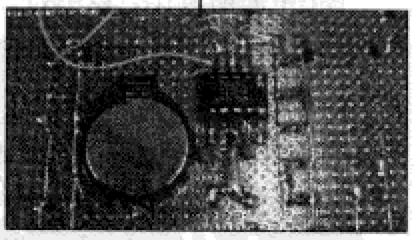


温感器

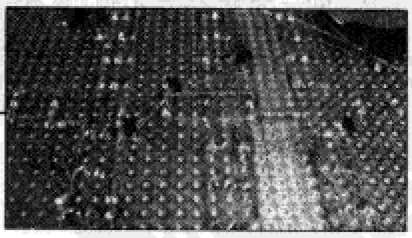


电源输入端





时钟器件



主板中心位置

硬件设计和软件思路

1. 扫描方式的选择

首先从原理出发，共阳型LED静态逐行扫描方式显示，当全显时，所有LED的电流在同一时间内流向单片机。而单片机在同一时间内最大灌入电流从单片机的数据手册中可知：不超过100mA。所以电路中用了PNP三极管来做驱动。

静态逐行扫描全显代码范例：

```
void dis_on()
{
  SMG1=0x00;      //P2
  SMG2=0x00;      //P0
  SMG3=0x00;      //P1
  delay(KC_PWM); //延时
  不加PNP管驱动的话，以上24个I/O的电
  //流全部灌入单片机，单片机将有生命危险
}
```

逐位扫描P0口全显代码范例：

```
void dis_onP0()
{
  P0_0=0; //点亮第一个，电流灌入单片机
  delay(KC_PWM);//人眼暂留效应
  P0_0=1;//熄灭第一个，无电流灌入
  delay(10 - KC_PWM);//延时
  P0_1=0;//点亮第二个，电流灌入单片机
  delay(KC_PWM);
  P0_1 = 1;//熄灭第二个，无电流灌入
  delay(10 - KC_PWM);
  ……//原理同上，省略
}
```

从以上两段代码可以看出，同一时间内只有一个LED的电流灌入单片机。这种扫描方式叫做动态逐位扫描，可以减少硬件上的PNP三极管的成本，缺点是CPU将消耗更多的时间在延时上，代码长度难免超出4KB（AT89C51）存储空间。而我们的设计采用的是逐行式，原因如下：

◆ 白光LED的点亮电压、电流相比其他色的LED要高，如果品质不好，那么可能并联在一起的LED有的会亮些，有的会暗些。解决的办法是，每个LED串联一个10～100Ω的限流电阻。采用三极管驱动可以提供更好的电压和电流值，使亮度基本一致。

◆ 因同一显示段并不是一个LED，而是多个并联（最多的一组是11个），就算是逐点扫描，电流也难免过大，而将此段驱动I/O口烧坏。

◆ 从工程角度说：“为了能长期正常、可靠地工作，宁愿多花硬件成本，也要减少未来的维护费用。”

2. 亮度变化的实现

要使亮度发生变化，首先会想到PWM，更改占空比可以调节亮度。而PWM的产生方法有许多种，对于我们的这种要做特定功能显示的应用要如何实现呢？

还是要从扫描讲起，动态扫描的原理就是利用人眼暂留效应。还是看看逐位扫描P0口全显代码，用一个波形周期可以更好地理解这个亮度的变化，见图6。

图6中周期为10，以9级占空比来实现PWM。每个下降沿为一个PWM的周期，如果低电平为点亮LED，那么图6实现的是一个9级由亮到暗的渐变过程。

和逐位扫描P0口全显代码中的程序结合起来理解。第一个周期，低电平占空为9，即点亮一个LED的时间为9，高电平占空为1，即熄灭一个LED的时间为1。这样更改单片机程序中的延时变量KC_PWM就可以得到一个占空比，从而亮度的调节便可实现。由此，我们可以想象，手动调光和按时间自动调光的功能实现可以有多

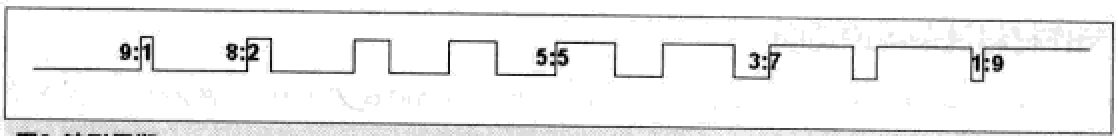


图6 波形周期

么简单。

自动调光实现的代码演示：

```
if(Hour >= 22)KC_PWM = 1; //22~23
else if(Hour>=19) KC_PWM=2;//19~21
else if(Hour>=10)KC_PWM=6;//10~18
else if(Hour>=8)KC_PWM=2;//8~9
else if(Hour>=0)KC_PWM=1;//0~7
```

是不是一看代码就觉得有“坑爹”的感觉啊，不是说调光9级吗，怎么代码里的值并不是那么一回事？嗯，的确如此，这时不得不讲一下其重要性了，按时间自动调光的思想是：

若当前时间是晚上和凌晨，亮度是最暗的，因为这个时间里环境光没有多少，所以自动调节到最暗度显示，人眼看上去不会刺眼，还可以节省电能。

若当前时间是清晨和傍晚，亮度稍亮点。这个时间里环境光明显增强，而将亮度也随之调高，看上去显示更清晰。

若当前时间是白天，亮度在一个中值范围内。经测试，白天若将亮度上升到最亮，感觉还是刺眼，所以亮度并没设置到最高。

手动调光时，将KC_PWM自减，可以调节9级亮度。这是为了时钟屏晚上可以作为一个照明设备来考虑的。所以手动调节时是9级全的。

3. 红外遥控功能投机取巧的设计

整体系统设计时，已将32个I/O全部用尽，而考虑到这个时钟屏是挂在墙上使用的，设置时间和手动调光都是一件令人烦恼的事。所以我们将本地单按键和红外接收头共用一个I/O口，而红外发射端只需要发射连续的38kHz载波信号即可。经测试，采用STC89C51RC时，红外接收头端没有外加上拉电阻，接收头只能接收到红外发射器的短接功能，而AT89C51什么也接收不到。最后用一个4.7kΩ上拉电阻，长按发射和短按发射，接收头端均能接收。从这里我们可以对比出STC的抗干扰能力比AT的强，或者说STC的I/O内部上拉电阻比AT的强。测试距离，短按约5s，这个距离很适合晚上调光让时钟屏充当照明设备了。长按约1.5s，测试长按的结果，灵敏度不是很高，有待改进。

红外发射器电路的制作，我们采用8个引脚的单片机AT8PE53，产生一个38kHz的载波信号，电池采用CR2032，体积小。当然你可以选择其他的电路设计一个38kHz的频率输出。

4. DS18B20的负值处理思路

很多人在设计这个单总线温度传感器时并没有设计负值的输出，这是为什么？大概是无符号数处理更方便吧。

首先把演示代码请上台：

```
//Temper最大125，最小-55
if(TH > 0x7F)// >127，负数，高位是1
符号位
{
 fu_flag = 1;//负标志置位，负数
 TL = ~TL+1;//采样数据是负值时，将采
 样值取反，符号位不变
 if(~TL >= 0xff)
        TH = ~TH + 1;
 else
  TH = ~TH;
}
else
fu_flag = 0;//正数
Temper = TH * 16+TL/16; //实际温度
值=(TH*256+TL)/16,即：TH*16+TL/16
Dotemper = (TL % 16) * 10/16; //
计算温度的小数部分，保留一位
if(Dotemper >= 5)
Temper += 1;//四舍五入，取整数显示
```

一个标志位轻松地处理了负号问题，而且这种运算省去了浮点数的参与。

5. DS1302初始化的艰苦路程

大概会有人对使用DS1302感觉“痛苦”，比如：有时不管怎么操作（时序是正确的），就是显示一片混乱，DS1302后备电池正常，系统断电后，单片机重新上电工作时，读取出的时间是初始化的时间，明明把只初始化时间一次的标志写入DS1302的静态RAM中，系统重新上电时，时间又被初始化了，时间被初始化的问题解决后，接下来做测试，测试过程再来回切换STC和AT系列的单片机，意外出现了，上电后显示值要么一段一段几秒钟刷新一次，要么一片混乱全显示，还加上扰人的蜂鸣，要么时钟能显示而时间没有运行……

呵呵，让不才给大家讲讲经历吧，以上痛苦的事我全部遇上了。

◆“痛苦的事”的解决方法：原来以为是要对3个接口接上拉电阻，接上后发现，显示还是一片混乱。核对程序和硬件接口，原来“把左脚的鞋的穿在了右脚上，右脚的鞋穿在了左脚上”，数据和时钟线交叉了！这种低级错误发生了。

◆“最痛苦的事”的解决方法：因为DS1302在使用时必须要进行一次初始化方才正常工作，而系统掉电后，程序又将时间初始化了一次，所以每次断电后，时间就是初始的值。庆幸的是DS1302内置了31个静态RAM，可以暂存数据，于是大喜的我把初始化一次的标志写入了静态RAM的0xC0单元，下载了程序，结果造成了后面介绍的“痛苦”。

演示代码：

```
void init_1302()
{
if(read_data(0xc1) != 0x01)//读出不是0x01则初始化时间一次
  {
    write_data(0x8e,0x00);//写控制字，取消保护
    write_data(0x80,0x50);//秒
     秒第七位为0 开启时钟 否则关闭
    write_data(0x82,0x00);//分

    write_data(0x84,0x20);//时
     24小时制
    write_data(0x86,0x28);//日
    write_data(0x88,0x02);//月
    write_data(0x8a,0x02);//周
    write_data(0x8c,0x12);//年
    write_data(0xc0,0x01);//写入初始化一次标志
    write_data(0x90,0xa6);//充电
    1.075mA
    write_data(0x8e,0x80);//控制加保护
  }
}
```

◆“最最痛苦的事”的解决方法：下载程序后断电再开机，满脸无辜，怎么还是被初始化了？

最后无奈之下，便只对RAM单元0xc0写0x01，写完后再读此RAM单元内部，结果——不管我写什么数据到哪个RAM单元，读出的数据总是0x05。最后我确定，此静态RAM数据不靠谱！最后终于想出了一个绝招，若秒的最高位为0，说明1302的时钟是在运行的，如果是1，说明1302的时钟是停止的。有了这根稻草，我终于可以“复活”了……

演示代码：

```
if(read_data(0x81) & 0x80 )
//读取秒钟寄存器，当最高位为1时，说明时间停止了，则执行下面的语句
{
  以下代码同上，省略……
}
```

◆“最最最痛苦的事”的解决方法：此故障的排除，历经“磨难”。最初以为是AT89的程序下载有问题，然后将先前能工作的STC89插上，结果和AT89一样出现令人不解的现象：只要把DS1302接上，程序运行就不正常。于是以为DS1302的电路有故障，将此电路全部更新了一次，结果失败。后发现偶尔显示时，似乎单片机的工作速度很低，便认为是12MHz晶体振荡器有问题，再更换一次，结果又失败了。又回到起点分析，取下DS1302时，程序能运行下去，并且驱动口用的是P3高4位，认为这些时钟数据线都是比较高速的，又在12MHz晶体振荡器的身体上“踩”过去的，是不是会相互发生干扰，于是在此处的飞线用其他线取代并绕道而行，结果再次失败。故事还没完，做到这份儿上，用了最后一招，将所有程序以每个模块来做测试，并用STC89调试。令人兴奋的事来了，秒钟运行起来了，而后慢慢往上加模块，最后成功了。可当用AT89时，上电后偶尔会正常运行，最后我确定硬件上可能还存在问题。于是我将我的瞳孔放大，在那全裸的主板上做动态扫描，定睛发现，复位电容似乎有断裂的痕迹。不管三七二十一，先将电烙铁热上更换电容再说。10min后，无论用AT89还是STC89，上电后均能正常运行了。

以上调试经历，亲爱的读者朋友，您在制作时可有碰到啊，以后要注意哦。不过，从上面的介绍我们也能看到，STC89的复位抗干扰能力要比AT的强。

6. 显示屏的数据如何更新

按照DS1302手册的说法，时钟选用12时制后读取数据，你是否对此感到麻烦？如果有，那么就请另开道路吧。因为这个显示屏的时钟十位只能显示1，无法显示其他数字，因此我们不得不改用12时制显示方式。而DS1302的时寄存器更改为12时制后，读取的数据总是让人觉得麻烦，所以我们还是采用24时制读写，但显示时用软件来处理一下，就不会觉得那么麻烦了。

演示代码：

```
if(temp > 12 )// 改用12时制
{
 Hour = temp - 12;//PM
```

```
  pm = 0;//红灯点亮
  am = 1;//绿灯熄灭
 }
 else if(temp == 0)//AM
 {
  Hour = 12;
  am = 0;
  pm = 1;
 }
 else if(temp ==12)//PM
 {
  Hour = temp;
  am = 1;
  pm = 0;
 }
 else if(temp > 0)//AM
 {
  Hour = temp;
  pm = 1;
  am = 0;
 }
```

秒点的闪烁，每读一次DS1302的秒，秒的值有更改，那么秒点也更改一次状态，这样让我们看来总觉得闪烁的时间不对。为什么呢？闪烁其实是两个状态，一个亮和一个灭，而每秒钟闪烁一次，意思是一秒内必须存在一亮和一灭的过程。如果是读DS1302的秒数据，再更新秒点的亮灭状态，这样的话就是两秒钟才闪烁一次，所以才有上面的感觉。那么，我们该怎么设计这个一秒钟闪烁一次呢？想想，DS1302中的秒数据没有用来做显示确定的值，那么我们也就没有必要去读取这个秒数据了，而是另外开启一个定时中断，中断时间为500ms。那么每500ms更新一次秒点的状态，这样就做到了每秒闪烁一次了。

循环切换显示内容又是怎么一回事呢？这个很简单，利用分频技术，将1分钟分成多段，例如：前10s显示时分，后10s显示月日，再来10s显示温度，又来10s返回显示时分。

演示代码：

```
if(++count >= 25) //500ms
{
 count = 0;
 if(f)//秒点闪烁标志
 {
  if(++sec == 60)
  sec = 1;
  if(sec==1||sec==20||sec==40)//
  显示时分段
  m = 0;
  if(sec==10||sec==30||sec==50)
  //显示月日段
  m = 2;
  if(sec==15||sec==35||sec==55)
  //显示温度段
  m =4;
  f = 0;//秒点点亮标志
 }
 else
 f = 1;//秒点熄灭标志
}
```

7. 单按键操作函数设计

只要是人机交互型的产品，按键是必不可少的。按键的操作函数随具体按键电路千姿百态，而同一个电路中根据不同功能的需要，又需要更改按键的状态。但是万变不离其宗，按键函数要处理的首要任务就是防抖动，对于这部分这里我们就不多说了，大家应该都懂的。真正要讲的是怎么利用状态机来设置一个按键具有单击、双击和长按功能。

状态机的过程可以这样理解：

按键函数开始处，根据口令号执行口令内的任务，任务的执行还需要判断

▼

口令0：是否有键按下，有，则将口令更改为1，退出按键函数

▼

口令1：是否还是原按键按下，是，则将口令更改为2，退出函数；否，口令为0，退出

▼

**口令2：松键，口令更改为3，退出函数；没松键，口令不变，长按计时一次，退出函数；
长按计时到否，到，执行长按功能，口令更改为4，退出函数**

▼

**口令3：是否再次按下键，是，执行双击功能，口令更改为4，退出函数；
没有再次按下，单击计时一次，口令不变，退出函数；
单击计时到否，到，执行单击功能，口令更改为0，退出函数**

▼

口令4：是否按键松开，是，口令更改为0，退出函数；否，口令不变，退出函数

以上口令将在一个按键函数中，而每一个口令的执行时间都是在10ms或20ms后，口令不变时，10ms或20ms时间到后，执行内容当然也就在不变的口令中。

这种按键代码的思路我用于不同制作和产品中时，均未出现问题，应该算是一个非常成熟的思想了吧。

8. 值得注意的地方

中断函数中不要执行更多的代码，那样每次中断时，在中断函数中消耗了很多的时间，而后台程序没有及时地执行，那么最坏的结果是显示和按键功能不能顺利地工作。最好是在中断时只更新一些标志位，更新完后返回到后台程序，后台程序在执行时是由这些标志进行跳转执行的。

C51有8级的堆栈，在使用函数调用时，尽量平级调用，以减少堆栈的嵌套级数太深，而使程序死机。

相关演示视频见http://v.youku.com/v_show/id_XMzYzMTc0OTg0.html。

单册定价
35元

关注新浪官方微博

http://weibo.com/makeaszz

参与有奖活动

搜狐IT频道的专栏定期更新部分章节

http://it.sohu.com/s2010/make/

亚马逊评价 ★★★★★

《爱上制作》是美国《Make》简体中文版系列书。书中包括日常生活中的各种创意手工制作项目，内容涉及电子、机械、声像、生物、航模、缝纫等方面。

人民邮电出版社 POSTS & TELECOM PRESS　O'REILLY

2012 Make: 中文版精彩继续……

GSM短信收发控制系统的设计

◇周兴华

短信服务作为GSM网络的一种基本业务，已经得到普遍应用。利用GSM网络作为无线数据传输的载体，可以开发出许多性价比极高的应用项目，例如无人气象站、大型冷库、油井、变电站、电表、水塔、水库或环保监测点等监测数据的无线传输，遥控高压线路断电器、高温加热器或其他对人有危险的机电系统的启动和关闭，大型车队交通管理和控制指挥系统、高速公路信息牌的信息发布等。GSM短信远程测控工作框图如图1所示。

附表　TC35模块主要技术指标

- ◆ **GSM900MHz和GSMI800MHz双频**
- ◆ **支持数据、语音、短信和传真**
- ◆ **电源电压为3.3~4.8V**
- ◆ **可选波特率300bit/s~115kbit/s输出**
- ◆ **电流消耗：休眠模式（SLEEP mode）为3mA；空闲模式（IDLE mode）为10mA；关机模式（Power Down mode）为50μA**
- ◆ **通话模式的典型电流（TALK mode）：300mA@900MHz/270mA@1800MHz**
- ◆ **通话模式的峰值电流（TALK mode of peak）：1.8A**
- ◆ **温度范围：正常操作-20~+55°C；存放-30~+85°C**

西门子工业GSM模块TC35

国内常见的GSM模块有Falcom的A2D系列、Wavecome的WMO2系列、西门子的TC35系列、爱立信的DM10/DM20系列、中兴的ZXGM18系列等，而且这些模块的功能、用法差别不大。其中西门子的TC35系列模块性价比很高。TC35模块主要由GSM基带处理器、GSM射频模块、

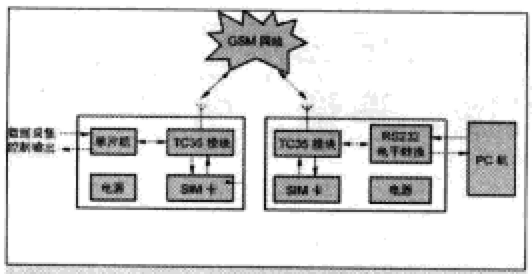


图1 GSM短信收发测控工作框图

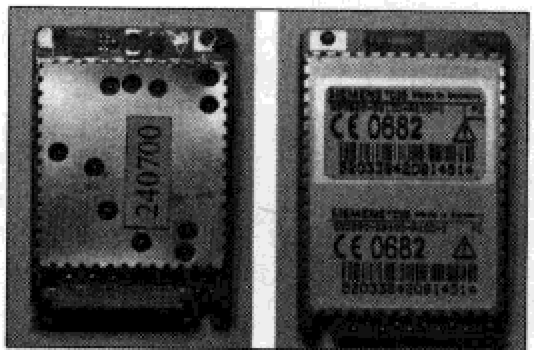


图2 西门子TC35模块的外形

供电模块（ASIC）、闪存、ZIF连接器、天线接口6部分组成。作为TC35的核心，基带处理器主要处理GSM终端内的语音、数据信号，并涵盖了蜂窝射频设备中的所有的模拟和数字功能。在不需要额外硬件电路的前提下，可支持FR、HR和EFR语音信道编码。图2为TC35模块的正反面外形。

TC35共有40个引脚，通过一个ZIF（Zero Insertion Force，零阻力插座）连接器引出。这40个引脚可以划分为5类，即电源、数据输入/输出、SIM卡、音频接口和控制。TC35的数据输入/输出接口实际上是一个串行异步收发器，符合ITU-T RS232接口标准，它有固定的参数：8位数据位和1位停止位，无校验位，波特率在300bit/s~115kbit/s之间可选。

各引脚功能如下：

1~14脚：为电源部分，其中1~5脚为电源电压输入端VBATT+，6~10脚为电源地GND，11、12脚为充电引脚，13脚为对外输出电压(供外电路使用)，14脚为ACCU-TEMP接负温度系数的热敏电阻。

24~29脚：为SIM卡引脚，分别为CCIN、CCRST、CCIO、CCCLK、CCVCC和CCGND。

33~40脚：为语音接口，用来接电话手柄。

15、30、31和32脚：为控制部分，其中15脚为IGT(Ignition)，30脚为RTC backup，31脚为Power down，32脚为SYNC。

16~23脚：为数据输入/输出引脚，分别为DSR0、RING0、RxD0、TxD0、CTS0、RTS0、DTR0和DCD0。

各主要引脚的工作特性如下：

◆ **VBATT+端**：

VBATT+为TC35的工作电压输入端，电压幅度为 3.3~5.5V，V_{typ}=4.2V，最大电流I_{max}≤2A @GSM天线回波损耗（Return Loss）≥6dB。必须注意，最低工作电压不能低于3.3V，否则会导致TC35停止工作。由于VBATT+引脚的峰值电流为2A，一个GSM发射脉冲（Transmission Burst）可能引起相当大的电压跌落，此外由于外部电源的扁平柔性连线的内在固有阻抗也可能损失一部分。因此，在任何时候，必须保证VBATT+的电压不能低于 3.3V，而

且电压跌落差值不能超过400mV。另外，为了保证TC35在发射脉冲区间的电压跌落值处于最低值，要采用尽可能短的连接模块和ZIF座的扁平柔性FFC电缆，长度不得超过200mm，并且应该采用低输出阻抗（Low-impedance）的电源。

◆ POWER端：

POWER为TC35的充电电压正端，如果通过外部的电源（如充电器）供电，应保证I_{max}=500mA，V_{in}=5.5~8V。

◆ IGT(Ignition)端：

IGT为TC35的触发点火信号端，可以用一个简单的开关拉低该端电平来开启模块。在空闲/通话/关机模式：V_{out}=2.0V，V_{low}(max)=0.45V@I_{out}=10μA，t_{low}≥100ms。对于点火信号IGT的处理，需要首先拉低该脚电平到地，并至少维持100ms。注意，如果你通过充电器回路（接到POWER引脚）供电，或者通过电池供电（接到VBATT+引脚），那么IGT信号必须维持至少1s。

◆ PD（Power Down）端：

PD为TC35的关闭电源端，关机信号脉冲拉低到低电平，至少维持3.5s方为有效。V_{low}(max)=0.45V@I=0.1mA，可用一个简单的电子开关实现关闭TC35模块。另外，关机信号端PD也可用来实现看门狗信号输出：V_{low}=0.35V@0.01mA，V_{high}=2.30V@-0.01mA，f_{out}=0.5~2.0Hz。

◆ VDD端：

TC35正常工作时，VDD引脚输出信号的幅度（大约在开机后60ms产生）为2.9V/70mA，可用于外部负载。空闲或者通话模式，VDD_{out}=2.9V@I_{max}=70mA，电源关闭模式，VDD_{out}=0V。

◆ 启动TC35的方式：

（1）通过点火线IGT触发，进入正常工作状态。

（2）通过电源线，开始进入充电区。

（3）通过RTC中断，开始进入报警模式。

◆ TC35的开机操作时序：

当开始应用，TC35的加电过程必须按照以下步骤进行：

（1）直到VBATT+脚的电平超过3.0V时，方可对IGT线的信号进行电平变换。

（2）VBATT+脚的电平上升达到3.0V后维持10ms，方可拉低IGT线的信号电平。IGT线的电平跌落时间（下降时间）不得超过1ms。另外，该IGT线的低电平信号最少必须维持100ms。

（4）在IGT线信号转换区间，必须保证VBATT+的电压不能低于3.0V，否则模块不能被激活。

◆ SYNC引脚：

SYNC引脚用来输出一个同步信号，也可以在应用时控制一个LED灯的输出，它可通过一个三极管或门电路来控制LED。

（1）LED灯灭，表示TC35电源关闭，处于休眠、报警或单纯的充电模式。

（2）600ms亮/600ms灭，表示未插入SIM卡，或个人身份未登记/已注销，或网络正在搜寻中，或正在进行用户身份鉴定，或网络注册正在进行中。

（3）75ms亮/3s灭，表示网络注册成功（控制通道和用户交换信息完成）。

（4）LED灯亮，依据不同的呼叫类型（声音呼叫、数据呼叫）进行指示。

GSM AT指令简介

GSM模块提供的命令接口符合GSM07.05和GSM07.07规范。GSM07.07中定义的AT指令接口，提供了一种移动平台与数据终端设备之间的通用接口；GSM07.05对短信作了详细规定。在短信模块收到网络发来的短信时，能够通过串口发送指示消息，数据终端设备可以向GSM模块发送各种命令。GSM AT指令集是由诺基亚、爱立信、摩托罗拉和HP等厂家共同为GSM系统研制的，其中包含了对短信的控制。

AT命令形式及返回形式

1. TC35所支持命令集中根据命令名称可简单分为：

"ATxx"及少量"AT+xxx"为V.25标准命令集；

"AT+Cxxx"为GSM标准所扩展的AT命令；

"AT^Sxxx"为SIEMENS定义扩展的AT命令。

2. 命令形式：

"AT+Cxxx=?"为测试命令（Test Command），执行此命令将返回此命令所支持的参数及参数范围。

"AT+Cxxx?"为读命令（Read Command），执行此命令将返回此命令当前的参数值。

"AT+Cxxx=<…>"为写命令（Write Command），执行此命令将设置此命令的参数值。

"AT+Cxxx"为无参数的执行命令（Execution Command）。

3. 命令的返回形式：<CR><LF>Response<CR><LF>

<CR><LF>为回车换行符，切记TC35回送时含有这些字符，这对于编写程序来确认TC35回送值，以确定TC35工作是否正常非常重要。

收发短信及相关操作AT命令

ATZ 软复位

ATE 本地回线设置

ATV 设置返回结果码形式

AT+CMEE 错误报告设置

AT+CSCA 短信中心地址

AT+CSCB 选择蜂窝广播消息

AT+CMGR 读短信

AT+CMGS 发送短信

AT+CMGC 发出一条短信

AT+CMGL 列出SIM卡中的短信

AT+CMGF 选择短信信息格式：0 PDU，1 文本

AT+CSCS 设置字符集

AT+CSMP 设置短信文本模式参数

AT+CMGW 向SIM内存中写入待发的短信

AT+CMNI 显示新收到的短信

AT+CMGD 删除SIM 卡内存的短信

AT+CPBR 读取当前电话本信息

AT+CPMS 选择短信内存

AT+CSQ 检查信号质量

AT+CSMS 选择短信服务

AT^SMSO 中断网络连接

TC35提供文本（Text）和PDU（Protocol Data Unit）两种模式来处理短信，在文本模式下，可进行GSM 字符集与8bit数据的收、发等操作，但不支持中文或UCS2字符集字符的收发操作，在PDU 模式下可支持上述所有操作，但需要理解收发PDU数据格式。在文本模式与PDU模式下，上述命令的使用方法会有所不同，详细的内容可参阅相关资料。

发送短信实例

SMS 是由ETSI制定的一个规范（GSM 03.40和GSM 04.11），规定当使用7bit编码（GSM 字符集）时最多可以发送160个字符，当使用8bit编码（数据消息，如铃音、图片）时最多可以发送140个字符（通常无法直接通过手机显示），当使用16bit编码（UCS2）时最多可以发送70个字符，用来显示Unicode文本信息，可以被大多数的手机显示。

1. 发送英文短信

命令	注释
AT<CR>	
OK	
AT+CMGF=1<CR>	设置为文本模式
OK	
AT+CSMP=17,167,0,0<CR>	设置文本模式参数。最后一个参数是数据编码类型，0表示默认字符集（GSM）
OK	
AT+CSCS=GSM<CR>	设置为GSM 字符集
OK	
AT+CMGS=17599809470<CR>	输入对方电话号码
><SP>TEST LINE!<CTRL+Z>	><SP>为TC35提示，"TEST LINE!"为短信内容，<Ctrl+Z>表示结束
+CMGS: 86	
OK	

2. 发送8bit 数据

命令	注释
AT<CR>	
OK	
AT+CMGF=1<CR>	设置为文本模式
OK	
AT+CSCS=GSM<CR>	设置为GSM 字符集
OK	
AT+CSMP=17,167,0,4<CR>	设置文本模式参数。最后一个参数是数据编码类型，4表示8bit 数据
OK	
AT+CMGS=17599809470<CR>	输入对方电话号码
><SP>3534454345STD6456576<CTRL+Z>	><SP>为TC35提示，"3534454345STD6456576"为短信内容，<Ctrl+Z>表示结束
+CMGS: 88	
OK	

3. 发送Unicode 编码字符串

命令	注释
AT<CR>	
OK	
AT+CMGF=0<CR>	设置为PDU模式
OK	
AT+CSCS=GSM<CR>	设置为GSM 字符集
OK	
AT+CSMP=17,167,0,8	设置模式参数。最后一个参数是数据编码类型，8 表示 Unicode 编码
OK	
AT+CMGS=22<CR>	输入PDU长度
><SP>0011000B913196899074F00008AA0862116210529F4E86<CTRL+Z>	><SP>为TC35 提示，"0011000B913196899074F00008AA0862116210529F4E86"为PDU 内容，<Ctrl+Z>表示结束。其中，"62116210529F4E86"为"我成功了"中文字符串的Unicode
+CMGS: 89	
OK	

接收短信实例

1. 接收英文短信

命令	注释
AT<CR>	
OK	
AT+CMGF=1<CR>	设置为文本模式
OK	
AT+CSCS=GSM<CR>	设置为GSM 字符集
OK	
AT+CMGL=ALL<CR>	列出所有短信。AT+CMGL=UNREAD可以列出所有未读短信，未读短信一旦被列出一次，即变为已读短信
+CMGL: 1, "REC READ", "+8617599809470", , "02/05/19,22:17:31+00"	其中第一条及第三条为中文短信，它们在文本模式下无法显示出正确的内容，只能列出其中的英文字符；+CMGL后的数字（如1）表示记录号，"REC READ"表示已读（未读为"REC UNREAD"），"+8617599809470"为发方号码，"02/05/19,22:17:31+00"为时间邮戳
+CMGL: 7, "REC READ", "+8617502909595", , "02/05/17,16:23:31+00"	
1234567890ABC	
+CMGL: 10, "REC READ", "+8617502909595", , "02/05/17,16:41:19+00"	
1234567890ABC	
OK	

注：文中所用手机号码为编造的，仅起示例作用，请勿当真。

2. 接收中文短信

命令	注释
AT<CR>	
OK	
AT+CMGF=0<CR>	设置为PDU模式
OK	
AT+CMGL=4<CR>	列出所有短信
+CMGL: 1,1,,28	+CMGL 后的首个数字（如7）表示记录号，第二个数字表示短信状态（0为未读短信，1为已读短信），其后一个数字（如28）表示PDU 长度，最后为该条短信的PDU数据
0891683108705505F0040D91683196899074F00008205091227113000853D17ED981EA5DF1	
+CMGL: 7,1,,32	
0891683108705505F0240D91683109929095F5000020507161321300 0D31D98C56B3DD703958503804	
+CMGL: 10,1,,50	
0891683108705505F0240D91683109929095F50008205071611491001E00310032003300340035003600370038003900300041004200438FD84E2A	
OK	

08	短信中心地址字节长度，指(91)+(683108701305F0)的长度，两个数字计为一个字节长度
91	短信中心号码类型，91 是TON/NPI遵守International/E.164标准，指在号码前需加‘+’号。此外还有其他数值，但91 最常用。
687105701305F0	短信中心号码，注意其每两位是位置颠倒的，实际号码应为8617500731500。由于电话号码位数为奇数(11)，因此加入F来保证8 位
00	MS_DELIVER的第一个8 位
0D	发送方号码长度
91	发送方号码类型
687105929095F5	发送方号码，经过了位移处理， 实际号码为“8617502909595”
00	协议标识TP-PID
00	数据编码方案TP-DCS
20507161321300	时间邮戳TP-SCTS
02	用户数据长度TP-UDL
C834	用户数据TP-UD，内容为“Hi”

00	短信息中心地址长度。在这里为0，表示使用存储在SIM 卡中的短信息中心地址
11	SMS_SUBMIT 的第一个8 位
00	发送方地址信息。在这里为0，表示使用本机号码
0B	接收方号码长度
91	接收方号码类型
6107281553F8	接收方号码，实际号码为16708251358
00	协议标识TP-PID
00	数据编码方案TP-DCS
AA	有效期TP-VP
0A	用户数据长度TP-UDL。若发送7bit编码数据，则TP-UDL为实际字符个数；若发送8bit 数据或16bit编码的Unicode，则TP-UDL为数据字节（8位）的个数
E8329BFD4697D9EC37	用户数据TP-UD，内容为“hellohello”

删除短信实例

接收到的短信存储在SIM卡中，如不及时删除，则在SIM卡存满后无法接收新的短信，建议用户将短信列出/读回并转存储在上位机PC后，及时将TC35中的内容删除。删除的命令为AT+CMGD=<index>。其中，index为记录号。需要说明的是，即使在index处无记录，此命令也会返回OK。

AT<CR>

OK

AT+CMGD=1

OK

收发PDU的数据格式

1. 接收PDU的数据格式

PDU 串不仅包含了短信内容，而且还包含其他信息，如发送者的信息、短信中心址、时间标志等，这些都是以8 位字节的16 进制数或者半8位字节的十进制数下的字符。

例如：接收到源地址为“16902909595”发来的内容为“Hi”的PDU，其数据为：08 91 686108701305F0 00 0D 91 686109929095F5 00 002050716132130002 C834。

2. 发送PDU 的数据格式：

另外给出一个例子：向目标号码为“46708251358”的终端发送内容为“hellohello”PDU 数据，PDU 内容为：00 11 00 0B 91 6407281553F8 00 00 AA 0A E8329BFD4697D9EC37。

TC35与单片机或计算机的通信测试

TC35带有一个串行异步收发器，因此与单片机的连接很简单，只需将TC35的串口与单片机的串口直接相连即可。而与计算机通信时，由于电平不匹配，需要

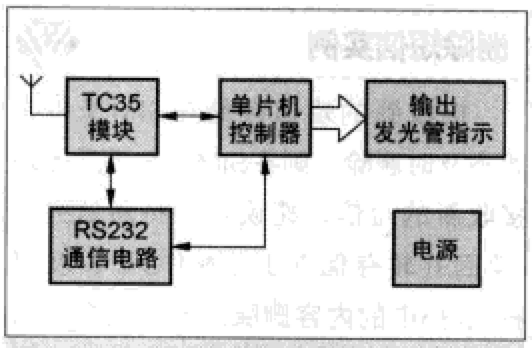


图3 GSM短信收发控制系统核心板构成方框图

使用一片MAX232进行电平转换。

与计算机连接好之后，可以使用串口调试软件或超级终端进行测试。选择相应的串口，将端口参数设置为：速率4800、无奇偶校验位、数据位8位、停止位1位、硬件流量控制。

在计算机上输入“AT”，然后回车，屏幕上返回“OK”，即表明计算机与TC35T已连接成功，TC35T能够正常工作，随后就可以测试各类AT命令了。

GSM短信收发控制系统方案及电路设计

GSM短信收发控制系统核心板构成方框图如图3所示，它由单片机控制器、GSM接收模块TC35、电源电路、通信电

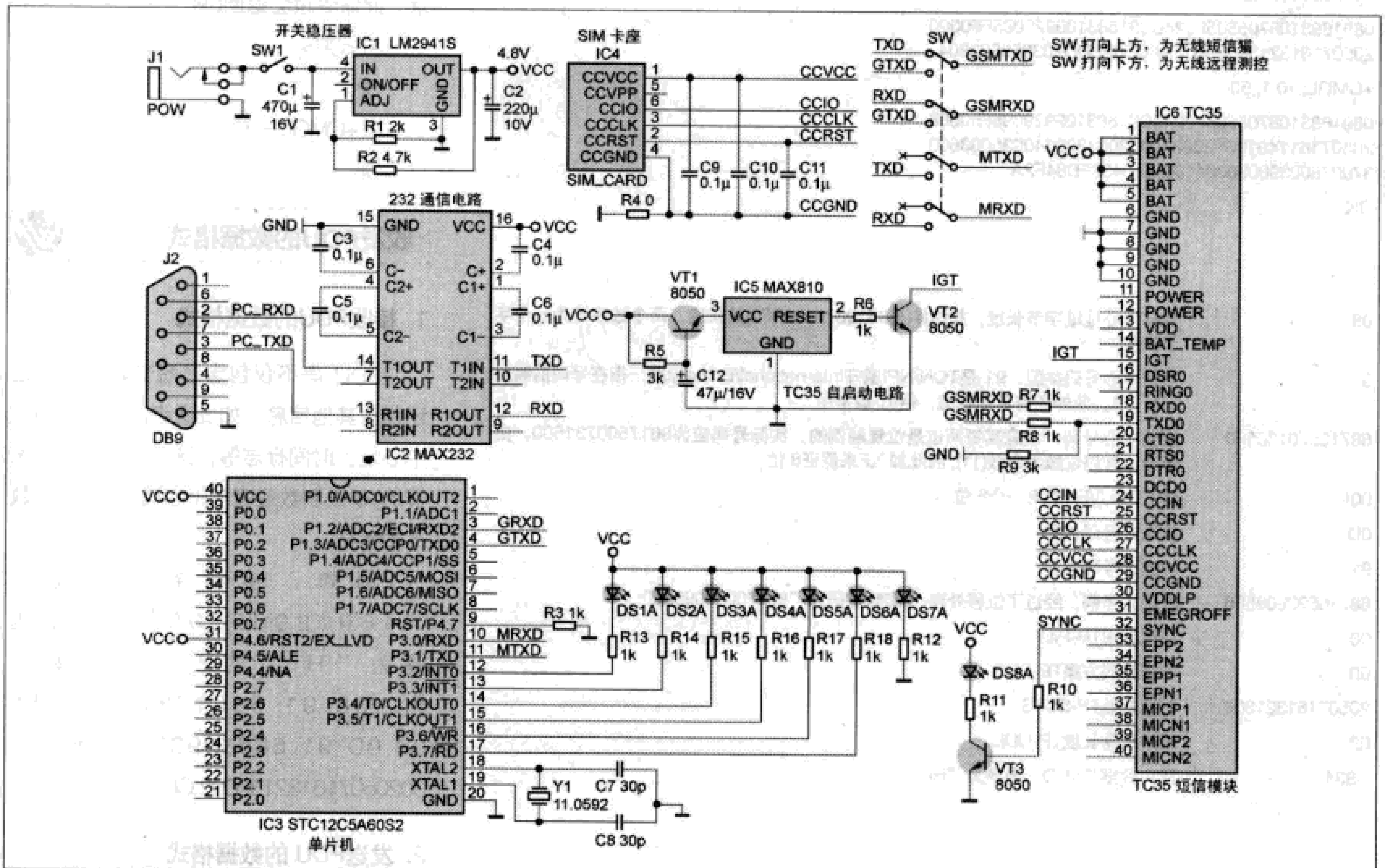


图4 GSM短信收发控制系统核心板电路原理图

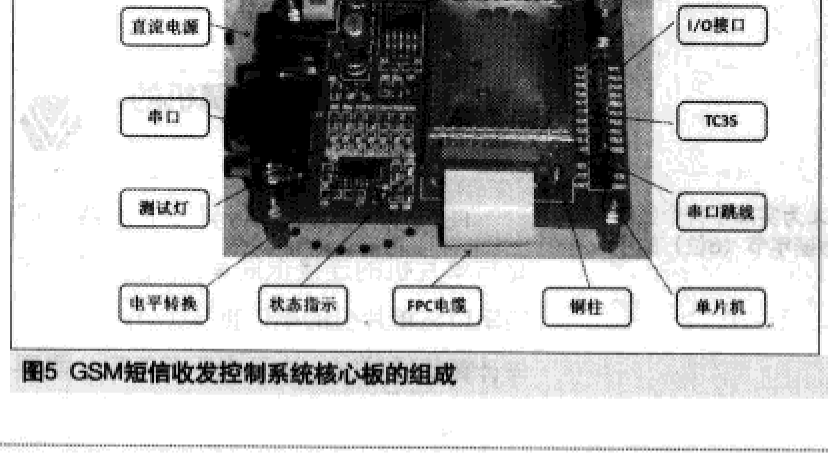


图5 GSM短信收发控制系统核心板的组成

图6 GSM短信收发控制系统核心板实际工作

路及发光管指示电路等组成。GSM短信收发控制系统核心板电路如图4所示。

单片机用于控制整个系统的运行，考虑到除了控制外，有些用户还需要进行模拟量及数字量的采集，因此这里使用了性价比较高的STC12C5A60S2 单片机，它带有双串口及8路10位AD转换器，既方便控制GSM模块作现场数据采集测控，也方便与计算机连接作“短信猫”使用。本系统电源的供电电流应大于2A，而加到TC35上的电压不能大于4.8V，因此我们使用了开关降压稳压器LM2941S。为了与PC机进行通信，板上还设计了MAX232通信电路。此外，板上还设计有TC35的上电自动启动电路，上电时，4.8V电源电压首先通过R5对C12缓慢充电，在MAX810（IC5）的监控门槛电压下时，MAX810输出一个高电平信号，VT3导通。100ms以后，C12上的电压超过MAX810的门槛电压，MAX810翻转输出低电平，VT3截止。这样就完成了TC35的启动过程。

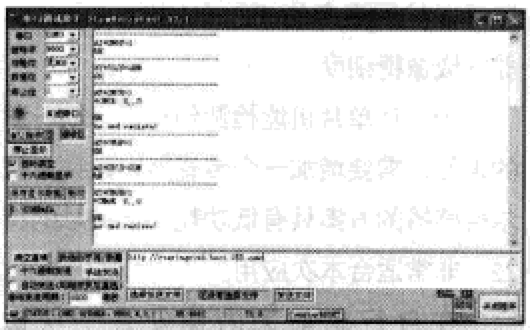


图7 发送各种AT命令进行测试

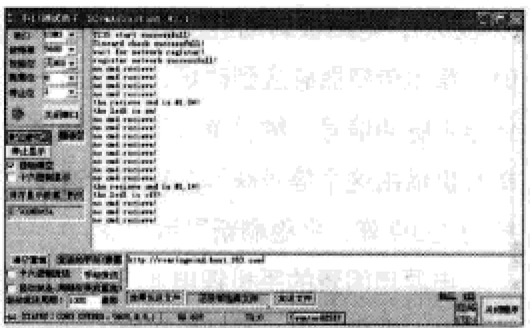


图8 PC机接收的部分信息

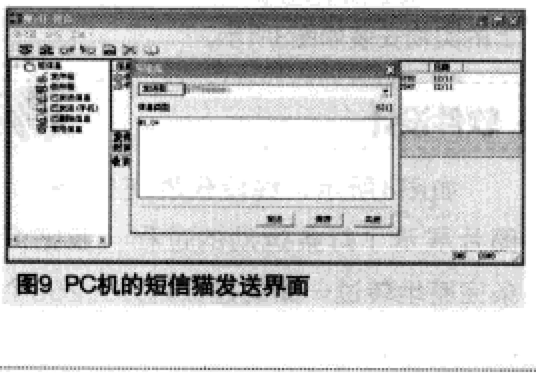


图9 PC机的短信猫发送界面

GSM短信收发控制系统核心板的组成、实际工作如图5、图6所示。

程序设计

为了使软件部分的设计清晰明了、便于阅读，程序设计主要分主控程序文件、GSM控制程序文件和头文件三大部分，这样设计速度快、结构坚固完善，并且也便于整个程序的装配。

这里的程序代码的功能是：用PC+短信猫或者用手机发送命令，控制GSM远程控制核心板的发光管亮或灭。程序解码的命令格式为：#M,N*xxxxx。其中#代表此条命令开始，M为发光管灯号（1~6），N为控制码，0代表ON，1代表OFF，*号代表命令结束。右边5个xxxxx目前暂时没有使用，以备将来扩展使用。例如：发送#1,0*码时，控制核心板的LED1亮，发送#1,1*码时，控制核心板的LED1灭。详细的源程序代码可到本刊网站www.radio.com.cn下载。

调试及应用

将充值的SIM卡安装到开发板的SIM卡座中，然后通过串口数据线将GSM短信收发控制系统核心板连接到PC上，SW打向MODEM位置（此时TC35、MAX232、PC机共同组成一台无线的短信猫收发器），J1外接5~12V/2A电源。首先板上的电源指示灯DS7A会亮，如用万用表测板上稳压器IC1的5号引脚，电压应为4.8V，然后注意观察TC35的指示灯DS8A，开始时会1s闪一次，说明TC35模块启动成功。如果该灯不闪的话，应检查TC35的数据排线是否接触不良。连续闪几次后，DS8A会变成3s闪一次，这说明TC35已经注册到GSM网络，可以实现收发短信功能。如果DS8A一直是1s闪一次，说明TC35注册到网络失败，此时应检查TC35的数据排线是否接触不良、SIM卡是否插紧、是否欠费等。

如果一切正常，我们可以在PC上打开串口调试软件，向TC35发送各种AT命令进行测试，如图7所示。

断开外接的5~12V/2A电源，接下来SW打向CONTROL位置（这时系统工作于远程测控状态），重新接通5~12V/2A电源。在该模式下，单片机的串口P3.0、P3.1通过MAX232芯片与PC通信，而单片机同时也通过P1.2、P1.3与TC35进行通信。GSM短信收发控制系统核心板工作运行时，会向PC发送有关的信息，指示设备的当前状态，非常方便用户调试。

例如，下面为GSM短信收发控制系统核心板上电工作后，PC机接收的部分数据：

TC35 start successful！

//TC35启动成功

Simcard check successful！

//SIM卡检测成功

register network successful！

//注册GSM网络成功

no cmd received！

//未接收到新的短信

……

PC机接收的部分信息如图8所示，这表明系统工作正常。

GSM短信收发控制系统核心板工作正常后，可通过手机或无线短信猫收发器给系统发送短信测试命令。输入的命令格式为“#M,N*”。PC机的短信猫发送界面如图9所示。

例如想点亮GSM短信收发控制系统核心板上的第一个灯，需发送命令“#1,0*”，板上的第一个小灯会被点亮，同时发送短信的手机或PC机会接收到一条回发短信“led1 set successful”，告诉发送方，系统已经执行了命令。

同理，我们还可以扩展GSM短信收发控制系统核心板的功能，并定义其他控制命令，例如可以要求系统回发采集的模拟量或数字量等。如果与上期介绍的GPS接收器结合起来，就可以做成一个实时的位置追踪定位器，该装置可望在车辆防盗、野生动物追踪等方面发挥重要作用。

◇张琦　插画：刘少冉

基于51单片机的自行车轮LED图案显示

幽蓝色的灯光在黑夜中像只舞动的蝴蝶，一路过去，忽闪忽闪，引人注目，自行车轮上蓝色的灯光显示出奇特的图案，像是悬浮在空中一般，这就是今天要给大家介绍的DIY作品——基于51单片机的自行车轮LED图案显示。其实，制作自行车轮LED显示的想法纯属偶然。高中时代，自行车是我必备的交通工具，下晚自习，总会经过一些昏暗的道路。在这种能见度低下的夜路上，机动车驾驶员看不清夜色笼罩下的自行车，骑行不会主动发光的自行车存在相当的危险性，由此逐渐萌生出制作自行车轮LED显示的想法。

这款电子小制作，利用人眼的视觉暂留原理，可以在旋转的自行车或是电动车轮上显示出各种个性的图案、文字。夜间骑车时，超炫的发光效果让你hold住整条马路。并且这舞动的光彩不仅仅只是简单的光影效果，而是等同于对路上的机动车、行人宣告“我在这里”，提升了骑车者的安全性。

工作原理

这款制作的原理很简单，由32颗高亮度蓝色LED，一字排开，组成基本的“线”。安装在自行车辐条方向上，如图1所示。

每颗LED的亮或灭都可由单片机单独控制，在车轮旋转运动的过程中，分别点亮相应的LED，这些“线”便组成了一个“面”，显示出事先设计好的图案。

为了让显示出的图案清晰、稳定，还需要一个同步机制，告诉单片机，车轮已经转过一圈，需要刷新显示。同时，根据这个信号测算出大致的转速，调整显示图案刚好填满幅面。

硬件设计

主控芯片采用最常用的51单片机，型号是AT89S52，它有8KB的flashROM，支持ISP在系统编程，便于测试。

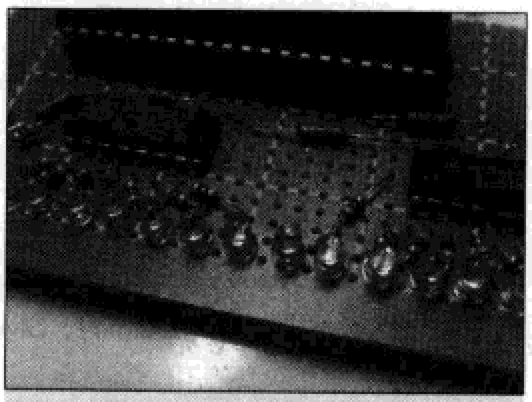


图1 32颗高亮度蓝色LED并排成一线

AT89S52单片机有32个通用I/O口，在这次的应用中是不够的。我选用了4片74HC595串入并出移位寄存器，扩展出32个端口，驱动32颗LED。如果有必要，还可以扩展更多的LED（比如128颗），提升成像精细度。

为了让单片机能检测到车轮转动一圈的事件，需要增加一个传感器。磁铁+霍尔传感器的方案具有低功耗、非接触的特性，非常适合本次应用。

在自行车前叉内侧安装一块磁铁，电路板上则安装开关型霍尔传感器CS3020。电路板转动经过前叉内侧磁铁时，霍尔传感器感应到磁场，会输出一个低电平脉冲信号，触发单片机中断程序。单片机借由这个信号获取车轮旋转速度，控制LED点阵，平稳刷新显示图像。

电源用闲置的手机锂电池（3.7V）直接供电，废物利用，可反复充电。

电路原理图如图2所示，在自行车轮上的实物安装如图3所示。

软件设计

如图4所示，线段代表LED灯条，图片展示了灯条运动的过程，我把灯条完整地转过一圈的过程划分为256个

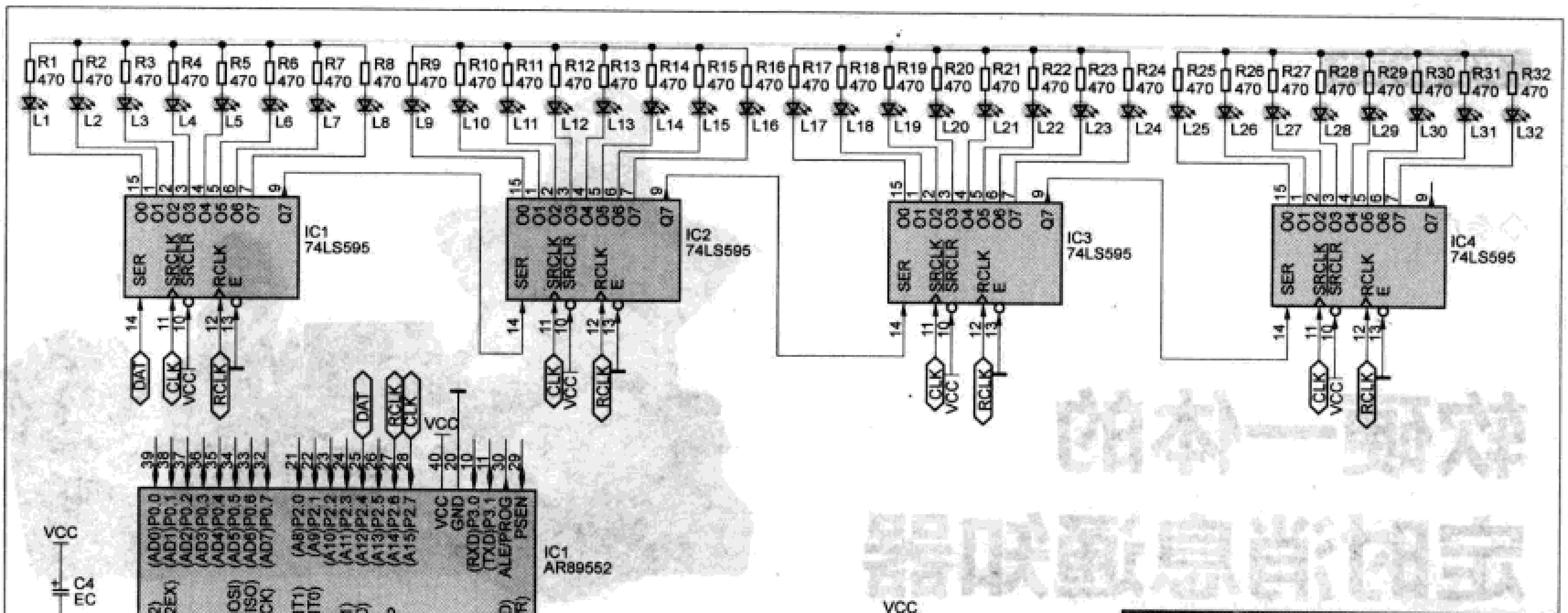


图2 电路原理图

图3 安装在自行车上的实物

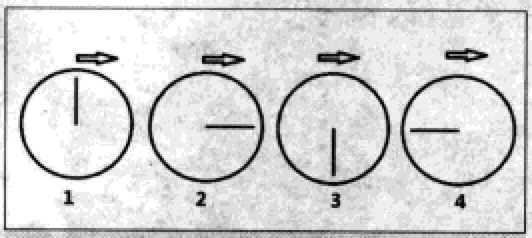


图4 LED显示原理

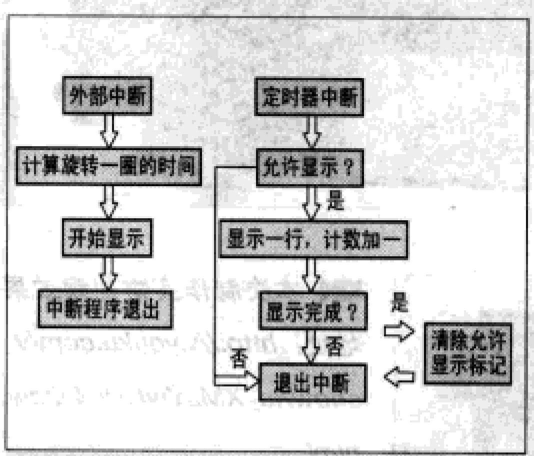


图5 工作流程图

等分，对应车轮幅面这个圆形的256条半径。只要控制灯条在这256个时间点上，依次显示出对应的亮/灭，在人眼视觉暂留特性的作用下，看上去就是一幅完整的图案。

想要显示的图案，需要事先在电脑上画好，再用取模软件根据32灯、256等分的规格进行编码，组成一个码表。单片机只需读表依次显示即可。具体的工作流程图如图5所示。

后记

这款小制作仍然存在一些缺点：1.由于显示原理的限制，只有在速度快的时候才有比较好的成像效果。2.没有合适的外壳，电路部件容易进水、生锈。

在自行车轮上安装了这款小制作，在放学骑车回家时，确实起到了增强夜间行车安全性的作用。

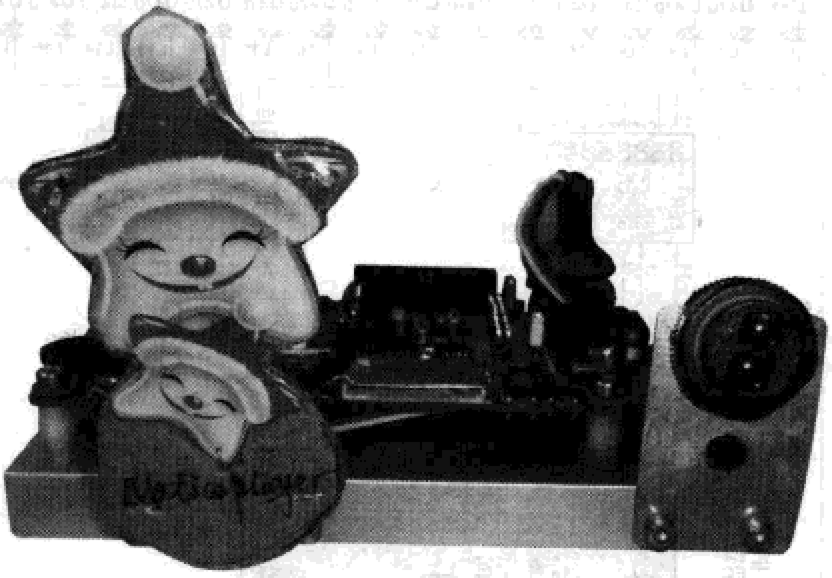
显示效果展示

■ 本制作的代码及程序读者可以到本刊杂志网站www.radio.com.cn下载。

开发板妙用之

◇李广

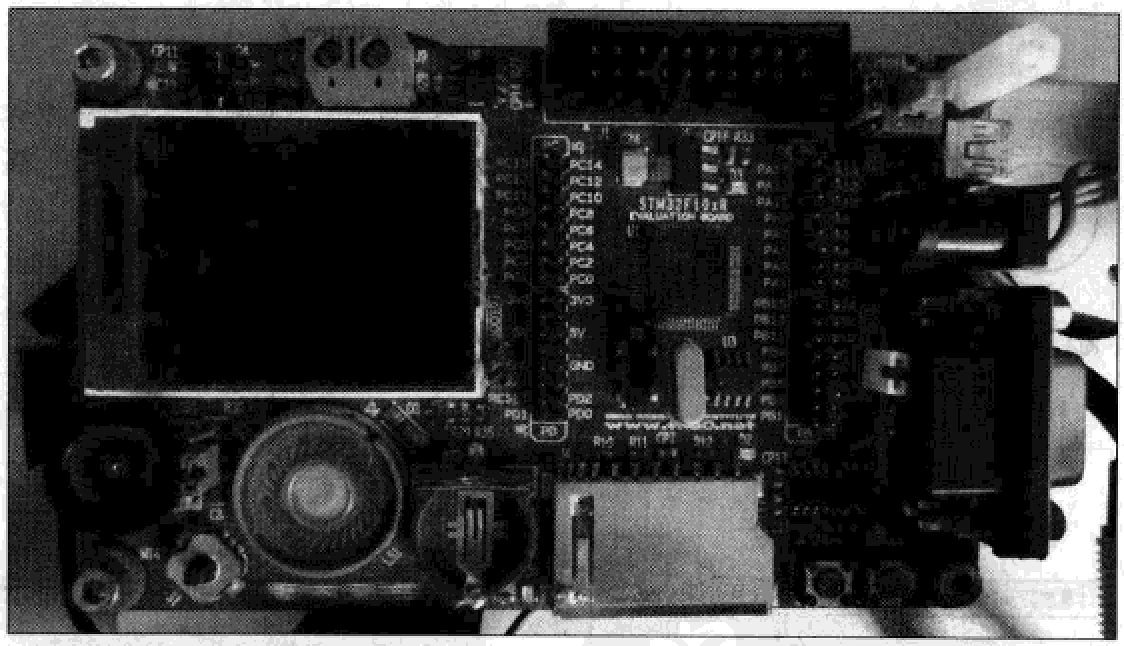
软硬一体的定时消息通知器



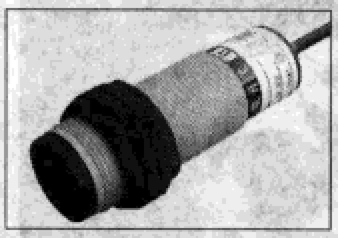
如果你是一个电子爱好者，相信你手头肯定会有两三种开发板吧！但我们进行电子产品设计或制作的时候，往往只连续用一种芯片或者一个系列的芯片来进行开发，因此手边就常常有闲置的开发板。这些闲置的开发板用来干什么呢？能否变“闲”为宝呢？欢迎各位电子爱好者把闲置开发板的妙用经验写出来，与大家分享。

笔者所在的公司，上下班时间考勤登记（打卡）是在OA（办公自动化软件）上完成的，但每个月总会有忘记打卡的情况发生。每到月末，后勤部人员会提示大家填写忘记打卡登记本，登记完再由领导签字确认，那个繁琐啊，呵呵。于是笔者在网上找了一些定时器软件来提示自己别忘记一天三次的打卡登记，可是还会有忘记打卡的情况发生，比如也许在某天的上班时间段里，你会让电脑处于待机状态，而当你在电脑旁边忙着专心做非电脑的工作时，就特别容易忘记打卡。

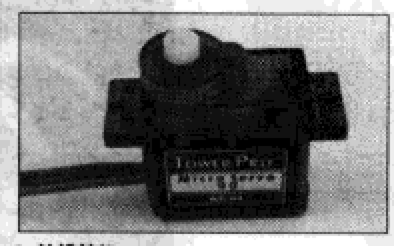
于是，笔者想到了用闲置的开发板做一个软硬一体的定时、消息通知器，它不但能在你使用电脑的时候通知你，而且当你不在电脑旁边时，它也可以通知到你。制作完成本文提到的定时器后，笔者试用了几个月，发现效果不错，现拿来跟大家一起分享。望此定时器的制作想法也能给读者带来启发，更带来方便。如果本文对读者开发产品也能提供帮助，那笔者更是乐意之至。



开发板图实物图



光电反射传感器



9g航模舵机

图1 硬件组成

本次制作实物视频效果地址：http://v.youku.com/v_show/id_XMzYwNDc4Njgw.html。

消息通知器的硬件组成

本制作只需要一块STM32开发板，一个9g的航模舵机，一个红外反射传感器（图1）。基本的原理是：利用开发板上USB接口与PC机通信，稍微改动一下开发板I/O接口，控制舵机摇摆，并通过LED指示消息，就可以完成定时提醒功能。

硬件电路的设计

为了更体现定时器的实用性，笔者想用最简单的连线方式及最简单、可靠的制作方法来搭建硬件平台。硬件采用的9g航模舵机，在不带负载情况下，其工作电流在100～200mA，完全可用USB口提供的电流来工作。硬件电路USB接口连接电脑后，由STM32F103RBT6自带的USB转串口与PC上位机通信用：当上位机定时时间到或者用户操作后，软件将信号下传到下位机，下位机做相应的动作。硬件电路所用单片机资源如附表所示，系统连接方式如图2所示。

笔者在首次制作的时候，没有加入“光电反射传感器”，使用后发现，当人不在计算机旁时，如果定时时间到，舵机仍会摆动。这样不仅浪费电，也影响舵机的使用寿命。于是笔者加入了该传感器，来感知是否有人在电脑旁。当然也可以用热释红外传感器来检测是否有人在操作电脑，这样效果会更好的。注：笔者用的传感器工作电压为5V，OC输出方式，可以直接接入STM32的I/O引脚并采用上拉使能输入方式，非OC输出的传感器还需要进行电平匹配处理。

附表 硬件电路所用单片机资源

序号	引脚	用途	配置方式
1	PA11	USB-DM USB转串口	复用功能的推挽输出
2	PA12	USB-DP USB转串口	复用功能的推挽输出
3	PA6	舵机角度控制，PWM输出	复用功能的推挽输出
4	PC3	光电反射传感器	带上拉输入_IPU
5	PC0	LED指示灯1	推挽输出
6	PC2	LED指示灯2	推挽输出

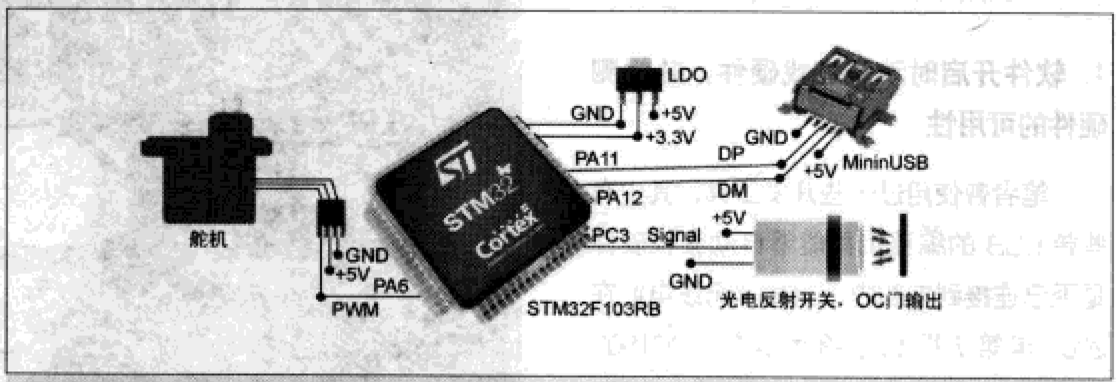


图2 硬件电路总成示意图

上位机软件的设计

设计上位机软件的界面如图3所示。

软件有3个主要运行状态：开启的时候主动去连接硬件，如果上位机软件通过串口探测出有硬件，整个定时器运行在软硬件一体定时显示器状态下。如果连续尝试连接硬件而没有得到响应后，会自动运行在纯软件运行状态下。当然，软件在纯软件定时器状态下工作时，用户可手动再次尝试与硬件握手。

软件中各按钮及静态文本框定义的意义如下：

确定修改：只有当用户点击这个按钮的时候，软件才会保存用户在软件界面上设置的参数，并以点击后的数据为最新的定时时基。

提醒使能：使能本次定时器开关。

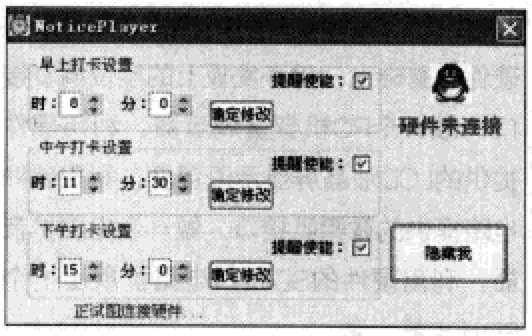
停止警告：定时时间到，点击该按钮才可以终止定时任务。

隐藏我：隐藏软件到系统托盘，软件实例仍在运行。

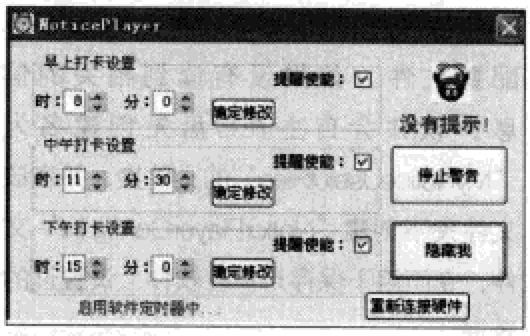
静态文本 **“没有提示”**：提示当前有无定时时间到，运行状态指示。

静态文本 **“正在试图连接硬件…等”**：显示定时器工作的模式及软件运行状态。

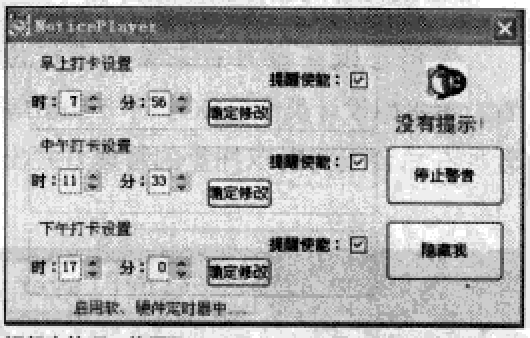
重新连接硬件：当软件连接硬件不成功后，软件会切换到纯软件定时状态。如果连接硬件成功，在软件界面窗口上没有



尝试连接硬件界面



运行在软件定时器中



运行在软硬一体界面

图3 软件运行界面

按钮出现。

上位机软件是笔者以Microsoft Visual Studio 2008（VS2008）为平台，用VC++语言开发完成的。由于本设计的硬件控制较简单，笔者侧重介绍一下在软件调试过程中花费时间最多的地方，这也是笔者认为本软件设计有点技巧的地方，希望能对读者在以后的开发中有所帮助。

1. 软件开启时动态查找硬件，并检测硬件的可用性

笔者曾使用过一些开发工具，其中有些带USB的编程工具能够自动查找硬件是否已连接到电脑中。比如《无线电》在2007年第7期赠送给读者的“SP180S编程器”，其编程器会自动连接硬件电路，比较智能。笔者经过对那款编程器的研究，将其开发设计技巧用在了本次制作中。其方法是：在软件初始化对话框时开一个定时器，当定时时间到，读系统硬件注册表中的串口信息，记下数量，并记下串口号（串口是否在使用中都会被注册到注册表中），再用串口类MSComm查看注册表，查找出串口的使用状态。如果串口没有被占用，则向该串口发出一帧数据，如果硬件处于连接等待状态，则会向PC机上传一帧数据，在此时的情况下PC机与硬件连接成功。如果没有探测出一帧有意义的数据帧，PC机会再次查找下一个串口使用状态，再发探测帧。如果再连续10次探测不成功，软件认为没有硬件连接，就处于纯软件定时功能状态。当然，用户还可以手动再次尝试与硬件握手连接。

2. 后台运行时的图标及参数管理

采用了以托盘方式来管理图标位置。笔者想设计类似于QQ、千千静听等软件在后台运行时以托盘的管理方式出现在任务栏中的形式，以减少软件图标占任务栏中的数目，而且防止用户在操作时误关闭软件。这样，本软件可就能以托盘的方式隐藏起来，方便用户随时查看信息与管理。

图4

当定时时间到，软件会主动从托盘图标状态下，弹出到桌面，提醒客户操作相关事宜。如果用户在2s内没有对其操作，软件会自主最小化到托盘处。

当定时时间到，软件的弹出界面功能，在纯软件及软硬一体情况下都起作用（见图4）。

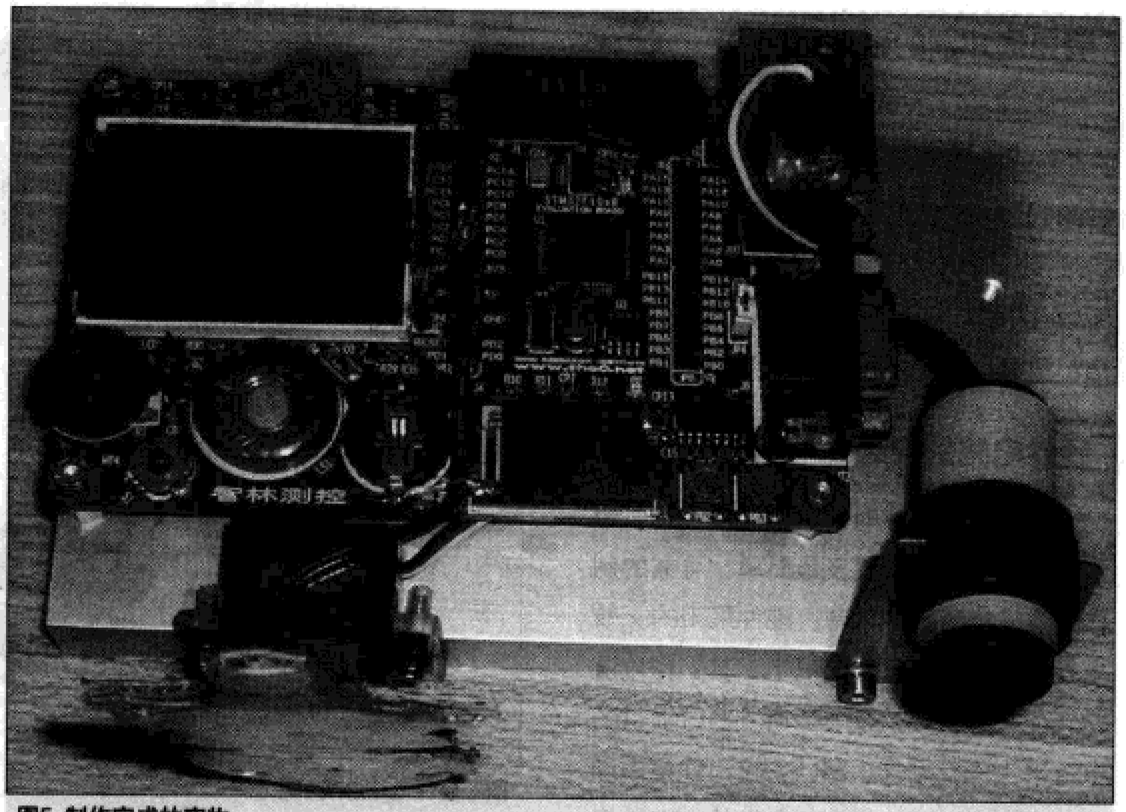


图5 制作完成的实物

3. 软件参数保存

在首次运行本软件的时候，软件会查找用户是否在“C:\MyNoticeUsefulFiles”下创建了“NoticrPlayerConfig.ini”配置文件，如果没有读到相关的信息，软件会自主在C盘先创建名为“MyNoticeUsefulFiles”的文件夹，并在该文件夹下创建“NoticrPlayerConfig.ini”文件，专门用于保存用户在软件上设置过的数据。

特别说明的是：本软件对串口的开发是基于微软的MSComm编写的，如果读者没有在计算机上注册该类，而直接编译笔者提供的VS2008工程文件，软件是不能运行的。因为软件找不到在计算上注册过的MSComm类。

本文提及的软件可到《无线电》网站www.radio.com.cn上下载，读者朋友只要点击安装，即可完成对串口类的注册。此后，读者再修改、编译上位机的工程文件，即可运行可执行文件了。

制作完成实物如图5所示。

写在后面的话

感兴趣的读者，可以对本次制作进行其他的功能扩展，比如利用PC机的蜂鸣器，增加带声音提示的功能，在不改动硬件的基础上，用开发板上的电位调节接口，做一个PC机音量调节器，利用硬件提供的LCD液晶屏显示温湿度，利用硬件电路提供的微喇叭接口，做一个电脑扩音器，利用硬件的SD接口电路扩展出一个SD读卡器。

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

反射式红外测速仪DIY

测速仪常用于电机、电扇、纸张、塑料、化纤、洗衣机、汽车、飞机、轮船等制造业中。依据对转速检测原理的不同，测速仪可分为以下几种类型。

❑ **离心式测速仪**：利用离心力与拉力的平衡来检测转速，是最传统的机械式测速工具，测量精度一般在1～2级。

❑ **磁性测速仪**：利用旋转磁场，在金属罩帽上产生旋转力，通过旋转力与游丝力的平衡来检测转速。

❑ **电动式测速仪**：电动式测速仪由小型交流发电机、电缆、电动机和磁性表头组成。磁性表头与小型交流电动机同轴连接在一起，小型交流发电机产生交流电，交流电通过电缆输送，并驱动小型交流电动机，小型交流电动机的转速与被测轴的转速一致，磁性表头指示的转速自然就是被测轴的转速。

❑ **闪光式测速仪**：闪光式测速仪可发出频率可调的脉冲闪光，利用人眼视觉暂留的原理对转动物体进行测速。除了检测转速（往复速度）外，还可以观测循环往复运动物体的静像。

❑ **电子式测速仪**：电子式测速仪是以现代电子技术及计算机技术为基础而设计的，一般有传感器和显示器，有的还有信号输出和控制。

常用的测速方法

常用的测速传感器可输出脉冲信号，只要通过频率电压或电流转换就能与电压、电流输入型的指针表和数字表匹配。频率电流转换的方法有阻容积分法、电荷泵法和专用集成电路法，前两种方法在磁电转速仪中也有运用。专用集成电路大多数是阻容积分法、电荷泵法的综合。目前，常用的专用集成电路有LM331、AD654和VF32等，转换精度在0.1%以上，但在低频时，这种转换就无能为力。采用单片机或FPGA做F/D和D/A转换，转换精度在0.5%～0.05%之间，量程从0～2Hz到0～20kHz，频率低于10Hz时反映时间也会变长。

在显示精度、可靠性、成本和使用灵活性上有一定要求时，就可直接采用脉冲频率运算型测速仪。频率运算方法有定时计数法（测频法）、定数计时法（测周法）和同步计数计时法。测频法在测量上有±1的误差，低速时误差较大。测周法也有±1个时间单位的误差，在高速时，误差也很大。同步计数计时法综合了上述两种方法的优点，在整个测量范围都达到了很高的精度，万分之五以上精度的测量转速仪表基本都采用同步计数计时法。

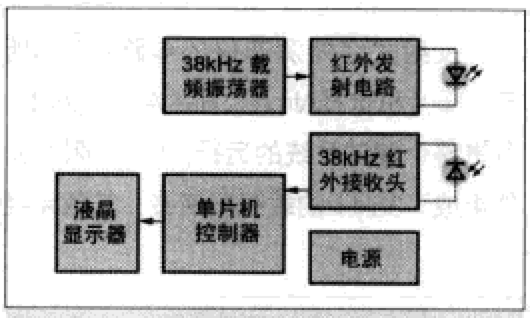


图1 反射式红外测速仪的系统构成方框图

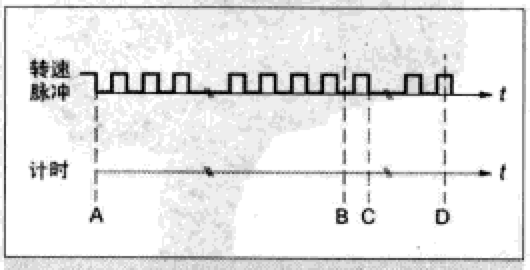


图2 转速测试原理

反射式红外测速仪的设计

这里我们介绍一款实用的反射式红外测速仪的设计与制作。

反射式红外测速仪在测量物体运转速度时，首先向被测物体发射出红外线脉冲，利用被测物体表面的反射能力（可在被测物体表面粘贴白色的反射纸等），使红外接收器收到光脉冲信号，然后通过光电转换电路将光脉冲信号转变为电脉冲信号，电脉冲信号通过放大和处理后，输入到单片机的计数控制门，与内部的标准表秒脉冲信号相比较，经运算后，通过显示器将被测物体运动的旋转速度显示出来。

红外探头的测量距离根据实际需要，可设计成近距离和远距离两类。近距离的探头可采用小功率发光管和光敏受光管。如果是远距离的测量，探头就可采用中、大功率的发光二极管或者是合适的激光二极管。

★ 系统设计方案

图1为反射式红外测速仪的系统构成方框图，由单片机控制器、38kHz载频振荡器、红外线发射/接收电路、8×2点阵字符型液晶屏及工作电源等组成。

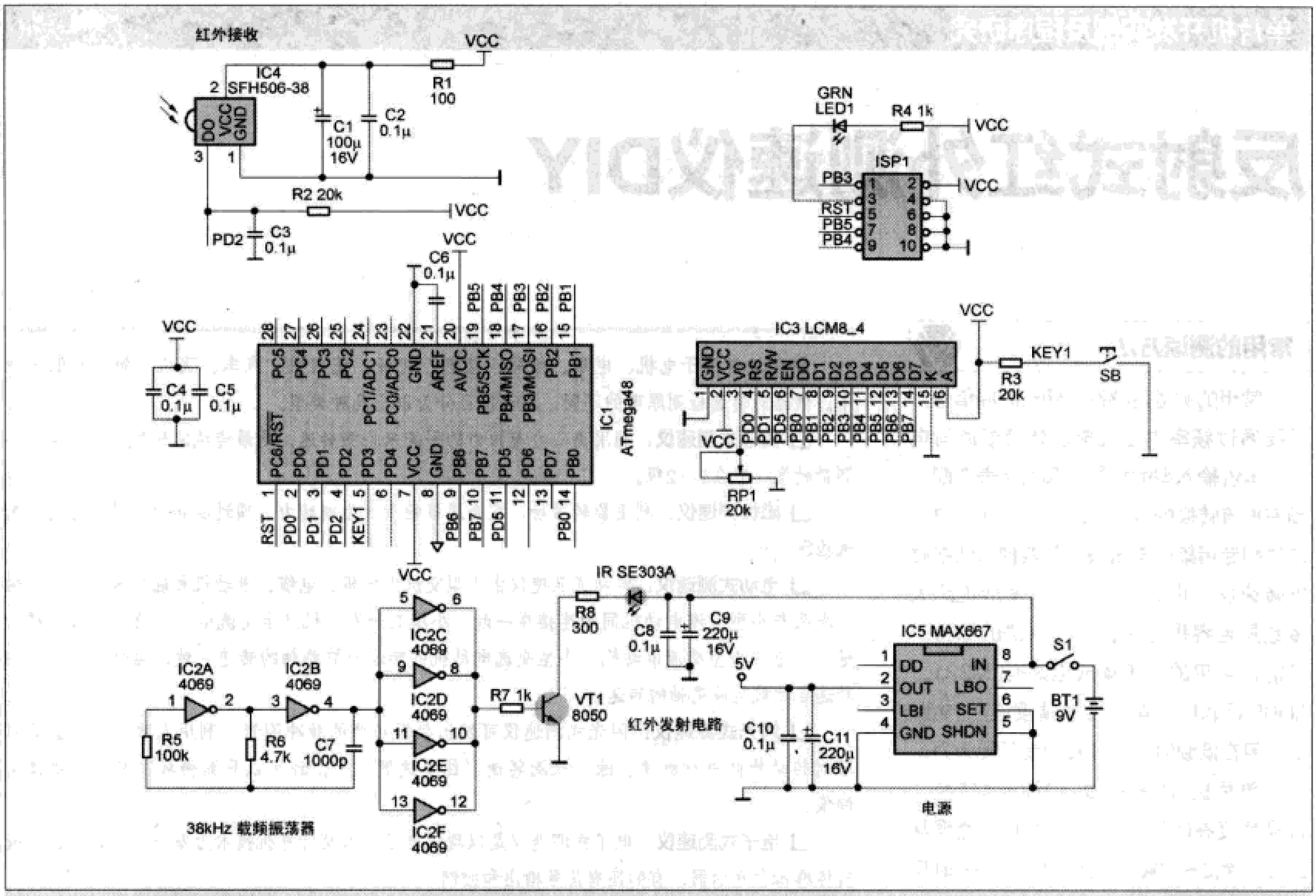


图3 反射式红外测速仪电路图

★ 转速测试原理

转速测试原理见图2。进入测试状态后，38kHz的载频振荡器起振工作，驱动红外发射管向外发射红外载频信号。单片机首先检测信号的边沿，当一个脉冲的下降沿到来时（图中A点），计数器开始对脉冲计数，同时，单片机还启动定时器进行测试计时。当定时器计时到1000ms时（图中B点），单片机发出一个准备结束本次测试的信号，这时程序又开始检测信号的下降沿，当下降沿到来时（图中C点），单片机对脉冲的计数cnt及对测试时间的计时time完成。此时根据公式：转速=(cnt/time)×60000即可算出此时的转速。当计时到1300ms时（图中D点），单片机输出显示，将测得的转速显示到液晶屏上。此次测试、显示完成后，又进入下一次的测试、显示，周而复始。

★ 电路设计

反射式红外测速仪的电路如图3所示。单片机选择Atmel公司的ATmega48，负责整个测试系统的运行。IC2及阻容元件组成了38kHz的载频振荡器，其载频经

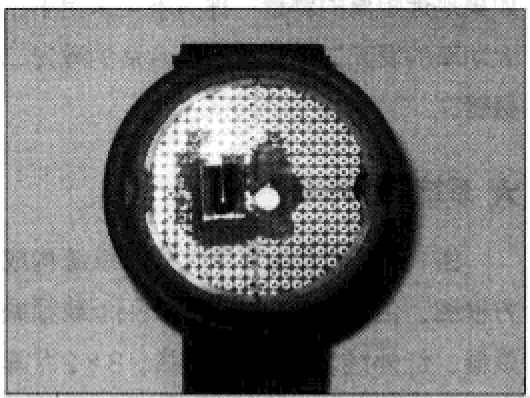


图4 发射、接收组件

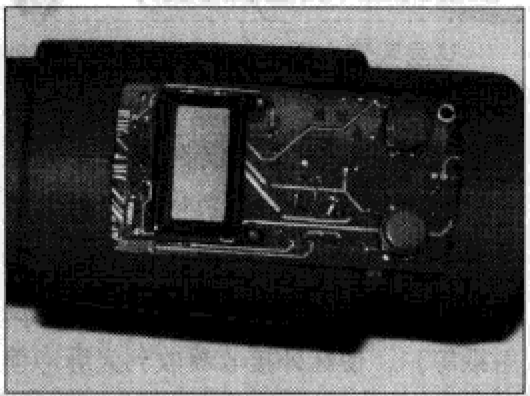


图5 液晶屏及控制按键

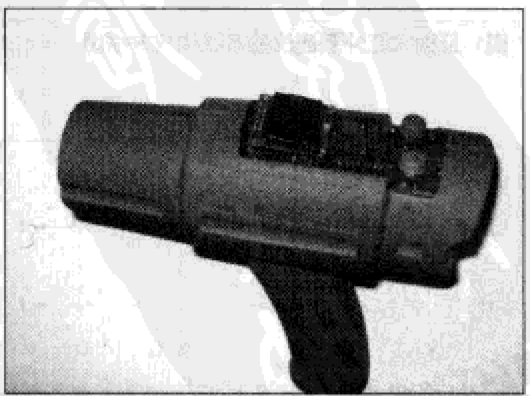


图6 反射式红外测速仪整机照片

主函数

```
void main(void)//主函数
{
  uchar temp;//定义单字节无符号局部变量
  float count,time,x;//定义浮点型局部变量
  Delay_nms(400);//延时400ms，等待电源稳定
  init_devices();//初始化单片机
  InitLcd();//初始化液晶模块
  display1();//液晶屏显示欢迎界面
  Delay_nms(2000);//等待2s
  display2();//液晶屏显示工作界面
  DisFlag=1;//测速显示标志置1
   while(1)//无限循环
   {
    WDR();//看门狗喂狗指令
    if(DisFlag==1)//如果测速显示标志为1
    {
     time=(float)tx;//整数转成浮点数
     count=(float)cx;
     x=count/time;x=x*30000;//数学计算
     DisVal=(uint)x;

     /******将测得的4位转速值存放于显示缓冲区*******/
         disx[3]=(DisVal/1000)%10;
     disx[2]=(DisVal/100)%10;
     disx[1]=(DisVal%100)/10;
     disx[0]=DisVal%10;
     /**********在液晶屏上显示转速值*********/
     DisplayOneChar(4,1,disx[3]+0x30);
     DisplayOneChar(5,1,disx[2]+0x30);
     DisplayOneChar(6,1,disx[1]+0x30);
     DisplayOneChar(7,1,disx[0]+0x30);

     /**此次显示完成后，相关变量初始化，准备进入下一次的测试**/
     DisFlag=0;WorkTime=0;
     DisTime=0;
     EndFlag=0;Start=0;cnt=0;
    }
    else//否则如果测速显示标志为0则进行脉冲取样
    {
    do{
    temp=PIND&0x04;WDR();JS=1;//等待下降沿后下一次测试
     if(Counter>1500)
     {Counter=0;JS=0;DisFlag=1;cx=0;goto END;}
    }while(temp==0x04);
    BeginFlag=1;Start=1;GICR=0x40;
    //重开INT0中断
    END:;
   }
  }
}
```

VT1放大后驱动红外发射管IR向外发射红外线。IC4为38kHz的一体化红外接收头，它负责红外线的接收、放大及解调，它将解调出的脉冲信号送入单片机进行计数处理。IC5为液晶显示模块，使用了8×2的点阵字符型液晶屏（带背光），形体较小，用于显示测试得到的转速。

整机供电使用9V积层单池，经稳压器IC5稳定为5V后，供单片机工作。笔者实际制作的发射、接收组件如图4所示，使用热熔胶固定。制作完成的样机上的液晶屏、电源开关及按键如图5所示，按键SB目前没有使用，作为备用，整机照片如图6所示。

★ 软件设计

程序主要分为主控程序、液晶屏驱动程序和头文件三大部分，这样设计速度快、结构完善，并且也便于整个程序的装配。程序使用ICC7.14C集成开发环境编译。限于篇幅，这里仅介绍一下主函数，完整程序可以到《无线电》杂志的网站下载。

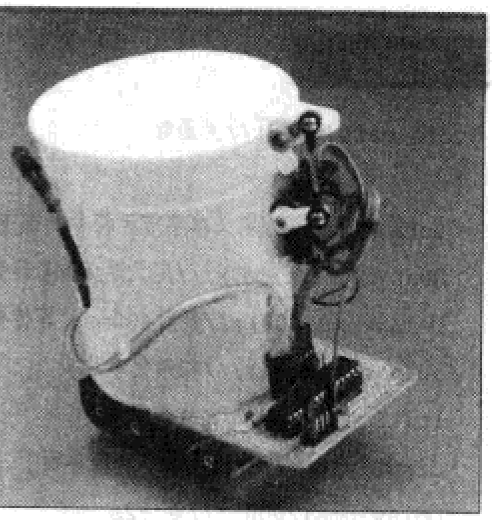
调试与应用

本机唯一需要调整的是红外发射电路的38kHz载频，它关系到红外测速仪的使用灵敏度及可靠性。整机检查无误后通电，用一个10kΩ的多圈可调电位器代替R6，用示波器或频率计测R7电阻的任一端，细调电位器，使频率为38.000kHz，越准确越好。调好后，取下电位器，测出其阻值，用一个同阻值的固定电阻代替电位器，焊在R6位置。整机其他部分全是数字信号处理，因此只要器件良好，就无需调整了。

红外发射管需要套一个直径5mm的黑色热塑套管，并且与红外接收头稍微隔开一点距离安装，防止发射出的红外光直接进入红外接收头。当然也不能离开太远，以免降低接收灵敏度。

◇张彬杰

感应式收纳桶



制作初衷

几年前和电子系的朋友一起研究电路，做些小作品，那时真的很开心。记得在学校时，和他们一起做过一个小制作——感应式垃圾桶。当然，那时做得很破，用蒙牛的纸盒包装做外壳，用步进电机和一条细线来驱动纸质的盖子，用一体化的人体感应模块（买来时几十元）做传感器。这次为什么又会做类似的一个东西呢？因为一次在超市购物时，我买了瓶木糖醇口香糖，送了个漂亮的收纳桶（见图1）。这让我想起了以前一起参与动手制作的朋友们，可能是对过去学校生活的怀念吧，我决定用这个收纳桶再做一个感应式垃圾桶。

感应式收纳桶能做些什么呢？有用吗？每次我跟朋友说起这个制作时，他们往往会问这个问题，如何回答这个问题呢，就让我们一起动手来实现一下吧。

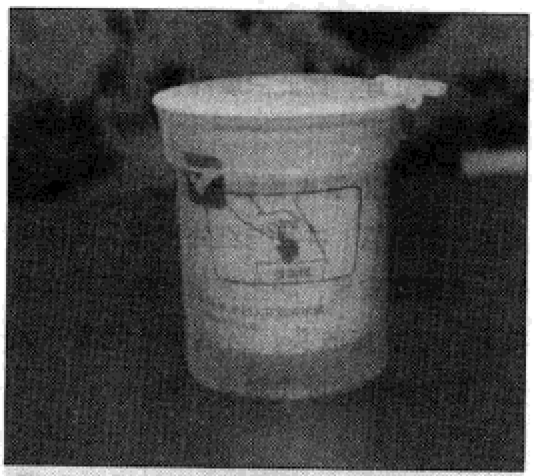


图1 买口香糖赠送的收纳桶

制作过程

准备好零件和工具就可以开始进行制作了。

先焊接好单片机插座、插针，这是为了让器件拆卸方便。在反面用有绝缘外皮的连线连接相应的电气位置（见图3），要根据原理图连接，不然提供的程序你可要自己修改。然后，用热熔胶把万用板、电池盒、收纳桶固定下来。这时你就可以通过ISP下载线给M8单片机烧录程序了。

最后再固定传感器和舵机到合适的位置，这样你就可以调整它们到最佳的状态。传感器我放到了收纳桶最上方的位置。如果有3个传感器，分别呈 120° 放置的话，可能感应的效果就更完美了。

至此，“善解人意”的收纳桶就做好了，当手在传感器上方15cm左右的距离时，收纳桶的盖子就能自己打开。当手离开至距离20cm左右，它又会自动关盖了。

电路原理

这个制作的电路原理图如图4所示。电路中没有晶体振荡器，其实原来我在外部使用了12MHz的晶体振荡器，但后来发现这个制作不需要就取消了。通过ISP下载线设置，使用M8单片机的内部8MHz RC振荡器。电源除了给单片机VCC供电外，还要给单片机内部的AD供电，AD的供电引脚分别为Avcc和Agnd。

主要部件及材料

本制作的主要原料仅仅只有3个：M8单片机、9g舵机和光电传感器（见图2）。

1 单片机大家也可以选择51单片机，如STC12C2052AD，只要带A/D转换即可。不带A/D转换的单片机也能实现功能，不过感应距离可能只有1cm。

2 除了9g舵机，大家还可以选择微型舵机，这样会美观些。

3 光电传感器我用的是TCRT5000，这个型号我不是特意挑选的，仅仅是我在淘宝上买电子零件时挑选的比较便宜的（不到1元），顺带买了3个。你也可以选择RPR220或LTH1550-01光电传感器。不过，我目前也没条件实验它们的效果。这两个传感器的光电特性和我目前用的，可能会有感应距离上的差别。

4 电源我使用的是4节1.2V的充电电池，你完全可以使用单片机下载线的电源而不用电池。

5 在这次制作中，我固定各个部件用的是热熔胶，这么做能确保当我有新想法时也可以很容易地通过加热拆下它。

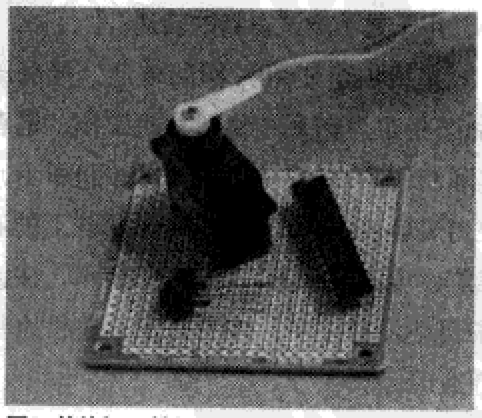


图2 单片机、舵机、光电传感器

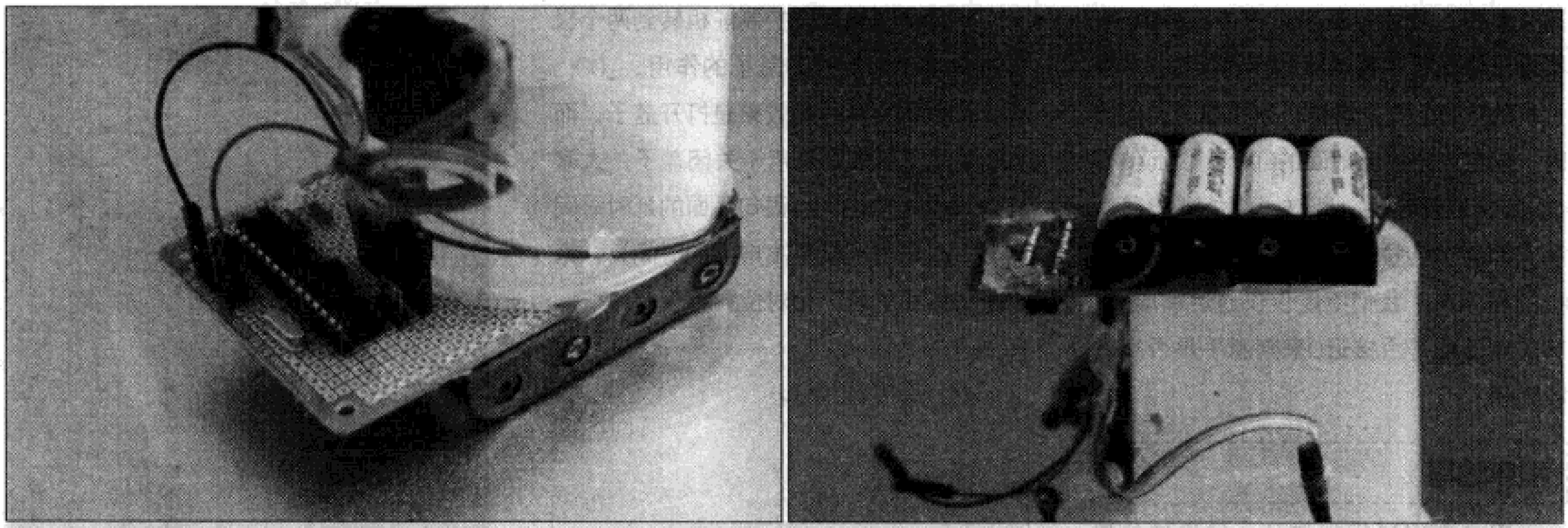


图3 制作好的电路实物

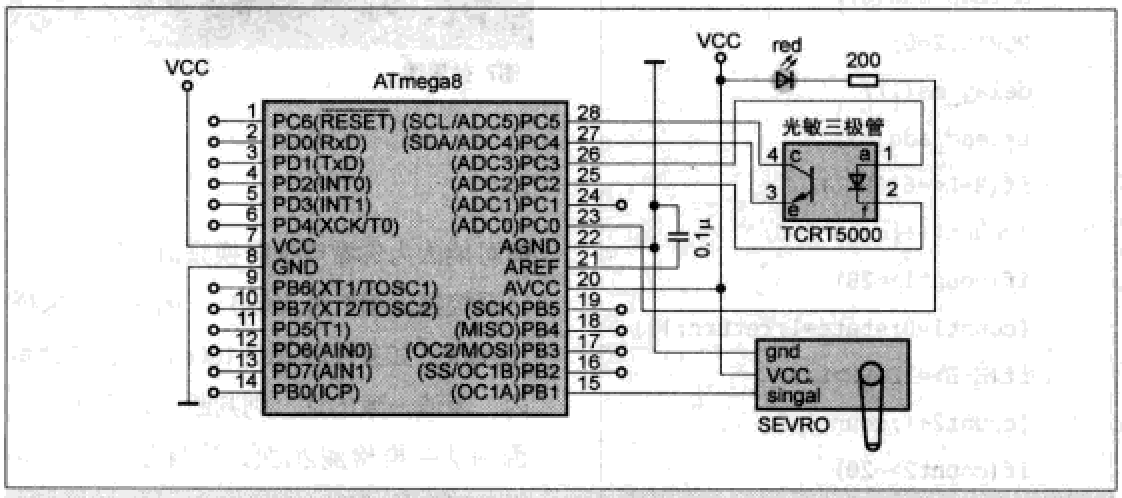


图4 电路原理图

为了更简化电路，通过程序设置，我让AREF引脚连接到内部的Avcc。这样设置后，可以节省外部参考电压源。为了使采集到的电压更稳定，应该在AREF引脚上接个电容到GND。

普通舵机的控制信号由singal接收，接收信号通常是频率为50Hz的PWM波（见图5）。通过调整高电平的宽度实现位置的调整，高电平的宽度就代表了舵机相应的角度，通常1500μs的高电平长度是舵机的中立点，1000μs对应-90°的位置，2000μs就对应90°的位置了（由于舵机的齿轮比不同，这个角度也不是绝对的）。这样，程序产生不同长度的高电平就能控制舵机拉杆的位置了，也就能拉动收纳桶的盖子了。

刚拿到TCRT5000传感器时，区分它的4个引脚还真花了我不少时间，结构如图6所示。首先可以明确的是，蓝色透明的是发射管，黑色不透明的是接收管。

☑ 如何区别发射管的a引脚和k引脚

毕竟它发射的是红外光，人的眼睛看不到。后来一次偶然的机会，笔者发现，打开手机的摄像头就能看到它发的红外光了，不过在屏幕上显示的是淡紫色的。通过这种方法不仅能确认a、k引脚，还能确定它是否完好。

☑ 如何区别接收管的c引脚和e引脚

在确保发射管正常发射且用手遮挡的情况下，一端接高电平，另一端的电平也接近高电平，那么接近高电平的就是e引脚了。除去发射信号，此时已经判断出的e引脚应该就接近低电平了。原理是这样的：当有红外光照射到光电三极管时，c与e之间就会导通，导通电压在0.4V左右。

经过这样的判断与测试过程，大家是否自己也能编写相应的程序，来判断是否有物体接近传感器了呢？不过在这次应用中，我并没有让c引脚接高电平，从而判断e引脚的状态。因为这样的话，传感器的e引脚要接一个下拉电阻。而M8单片机的引脚仅仅能设置上拉电阻。因此，为了

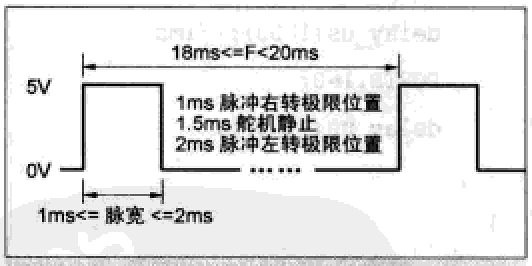


图5 PWM波长短控制舵机角度

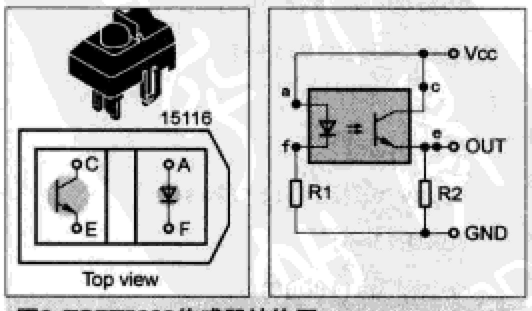


图6 TCRT5000传感器结构图

简化制作，我通过程序设置传感器的e引脚输出低电平，传感器的c引脚通过M8单片机的PC5上拉。这样，当手靠近传感器时，就会因为手反射回的红外光，而使得c引脚接近低电平。同样，红外遥控器对着它照射也会拉低c引脚。因此，在单片机的程序中，我们不能仅仅通过读取c引脚的电压值是否接近0来判断手是否靠近收纳桶。

程序编写

程序可以说相当简单，舵机仅仅用了10次循环来实现10次50Hz（其实舵机可以接收50~333Hz不等的频率）的PWM波，并延时产生相对应的高电平脉冲，从而实现舵机的运转。传感器的判断状态也就写了几十行的代码。单片机通过让发射管发射、关闭红外光，然后再检测传感器c引脚电压差的方法，来判断手是否靠近传感器。

由于程序不多且简单，我就直接贴出3个关键函数了：

```
void _00(void)
{
  unsigned char i=0;
  for(i=0;i<10;i++)
  {
    PORTB.1=1;
    delay_us(1000);//1ms
    PORTB.1=0;
    delay_us(19000);
  }
}
void _90(void)
{
  unsigned char i=0;
  for(i=0;i<10;i++)
  {
  PORTB.1=1;
  delay_us(2145);//2ms
  PORTB.1=0;
  delay_us(18000);
}
```

这两个函数可以控制舵机转到两个极限的角度，起到拉升盖子的作用。_00( )这个函数的实际作用效果是打开盖子，而_90( )这个函数则是用于关闭盖子。大家可以调整PORTB.1=1语句后面的延时时间参数（延时时间就是高电平的时间），来微调该舵机的两个相对位置。

```
void read_ir(void)
{
  while(1)
  {
    PORTC.2=1;
    delay_ms(2);
    H=read_adc(5);
    PORTC.2=0;
    delay_ms(1);
    L=read_adc(5);
    if(H-L<=6||H<L)
    {count1++;count2=0;
    if(count1>=20)
    {count1=0;state=1;return;} }
    if(H-L>=12&&H>L)
    {count2++;count1=0;
    if(count2>=20)
    {count2=0;state=2;return;}}
```

看这个函数的名字，大家就能想到它的作用了吧？这是读红外传感器的状态函数，当全局变量state=1时,表示没有物体遮挡、盖子关闭。当全局变量state=2时，表示有物体遮挡、盖子打开。PORTC.2控制着传感器发射的状态，当PORTC.2=1时，关闭红外的发射，等于0时开启红外发射。由于我们是要判断手是否靠近传感器，如果简单地判断ADC的数值是否接近0的话，那是不行的，因为在阳光下，ADC的数值就接近0。所以，我们实际要判断的是：物体靠近而引起的变化，即程序中的H-L的差值。

由于开启和关闭传感器需要时间，ADC转换也同样需要时间，这段时间完全

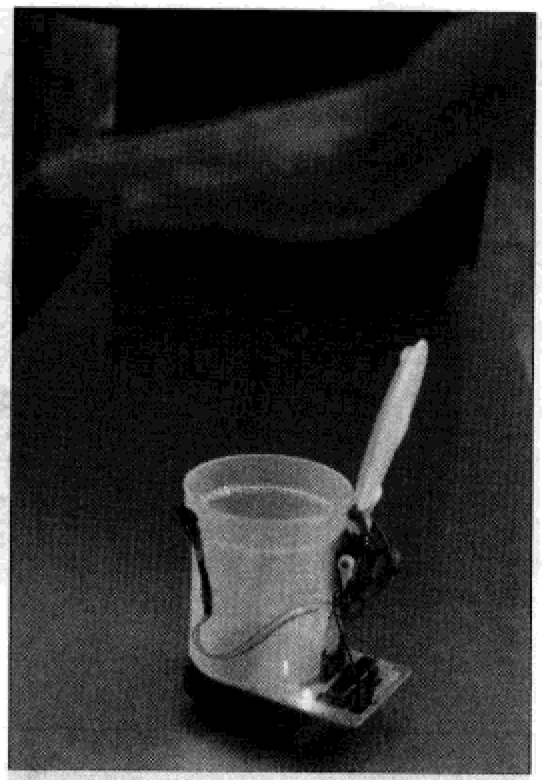


图7 效果图

有可能因为你看电视时换频道而错误触发（遥控器发射红外光嘛），因此程序采样了20次。如果20次总计100ms左右的时间内，差值一致的话，则判断有人手靠近，否则从头再检测20次。这样就保证了稳定而可靠的感应。

大家可以通过修改H-L的差值，来改变感应的实际距离。当H-L≥6时，感应的距离约为20cm。H-L的差值并非和距离成线性关系，差值在接近1时感应的距离最远，约30cm左右。但是你也不希望当手在30cm时，盖子连续不断地抖动开关吧。所以，在程序中我就设置H-L≤6（≤20cm距离）时就关闭盖子。当H-L≥12（≤15cm距离）时就打开盖子。

制作好的效果图如图7所示，本制作的单片机程序可以从《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载，使用CVAVR编译，点击工程文件即可直接打开修改。当然你不想修改完善的话，可以直接烧录编译好的 HEX文件。

具体的效果可以参看笔者录制的视频，视频链接见www.radio.com.cn。

51单片机控制的骨牌时钟

◇Chinked—out工作室

我们工作室主打的是51单片机设计，谈不上什么高技术、高水准，重在强调创意和开放资料，而且保证程序、硬件原理的准确性。初次见到网上的骨牌时钟的时候，除了激发了我的兴趣外，还有就是一种不平衡，骨牌是我们中国人发明的，却被老外们玩得很好，比如多米诺骨牌，现在又出来个骨牌时钟，觉得很不服气。我们工作室就希望发扬民族文化，把观赏性和装饰性结合起来，设计一款中国人的骨牌时钟！

这次设计的骨牌时钟，灵感源于那款网上的骨牌时钟制作，是国外一款很有创意的设计，我们这次的设计和网上的显示方案是相同的。我当时看了觉得很有意思，自己和工作室的朋友折腾了几天，也搞了出来。下面，我就毫无保留地把制作过程、程序、原理图介绍出来供大家参考，希望读者能指出不足之处。

这个“家伙”可是我们工作室的人纯手工制作的，这也是重庆市盛群杯单片机设计竞赛的复赛作品，虽然在最终的评审后没有取得奖项，但是得到了其他高校的赞赏和认可，算是有个安慰奖吧！图1和

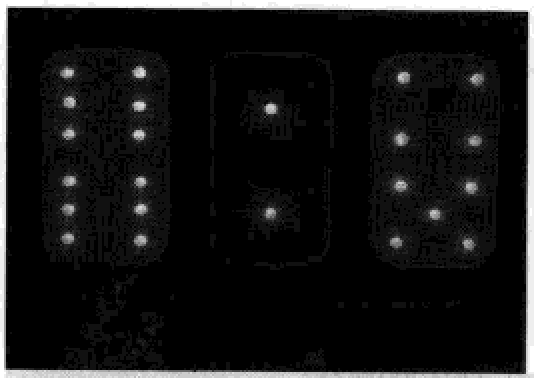


图1 显示时间为12：29

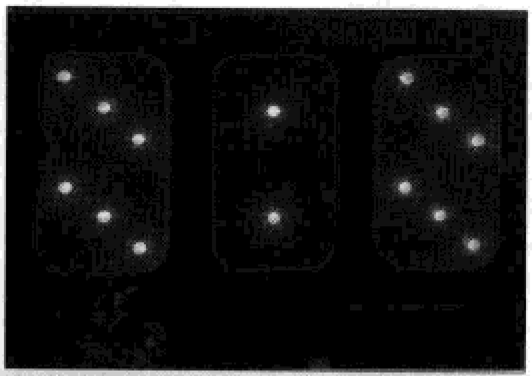


图2 显示时间为 6：26

图2所示是骨牌时钟的显示效果。

我粗略地介绍一下这个时钟的显示原理和外壳设计方法，更多详情请参看视频。这个制作的各部分的电路原理图如图3～图5所示。

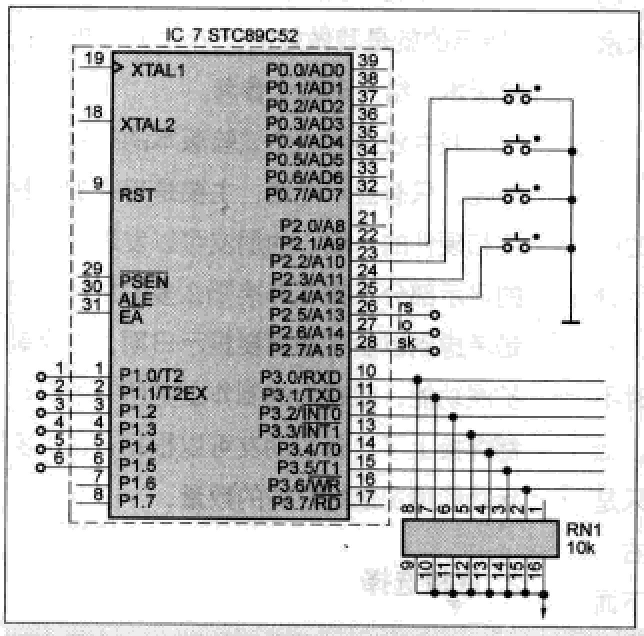


图3 单片机I/O口分配示意图

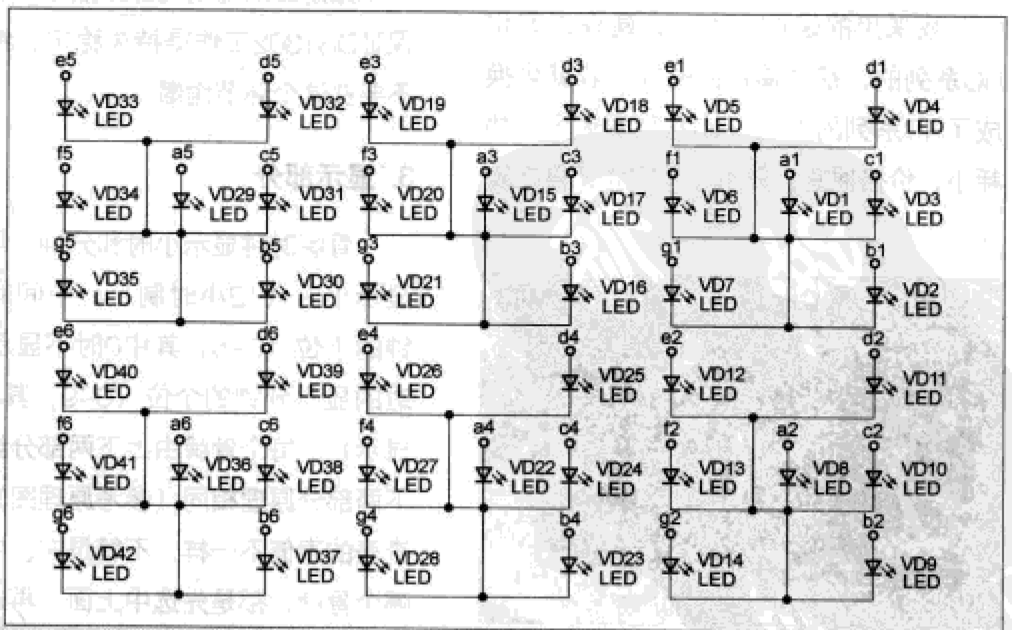


图4 发光二极管的连接方式

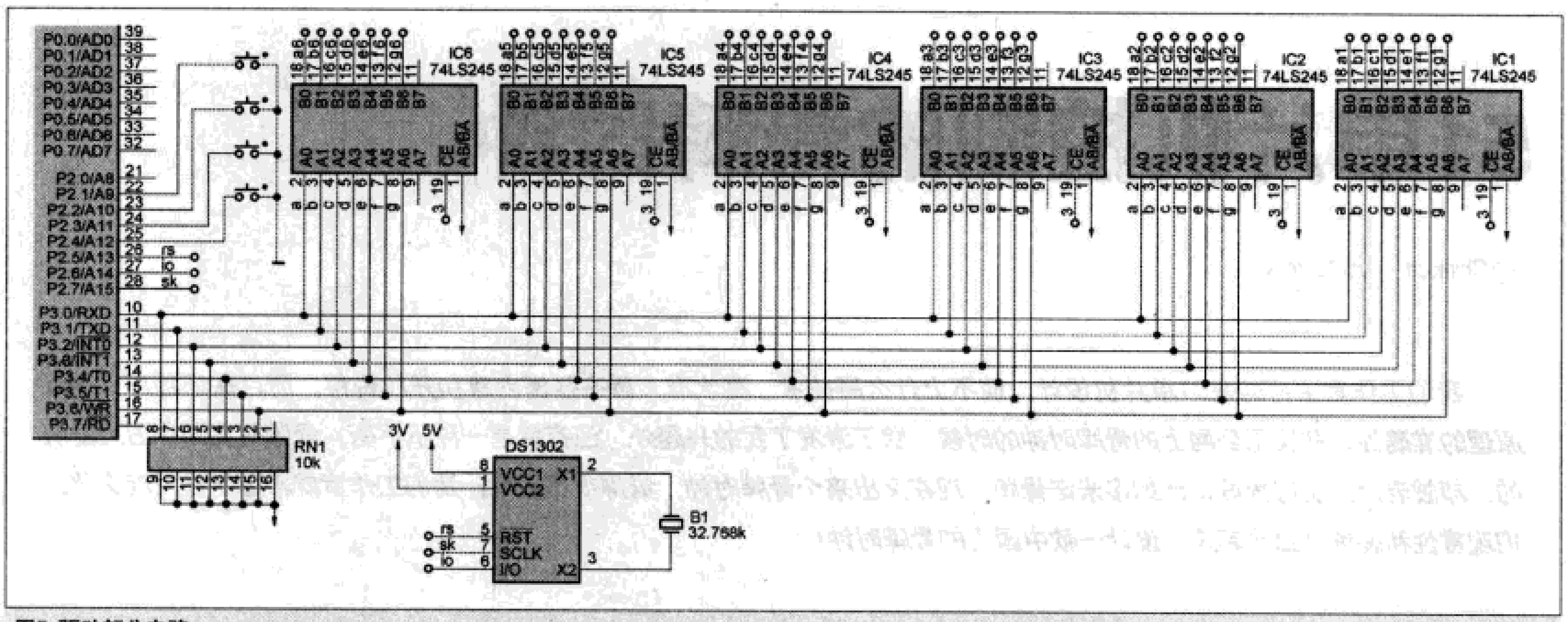


图5 驱动部分电路

电路部分

单片机控制部分的原理图见图3。追求完美的朋友可以不必用40脚的单片机，28脚的就够了。STC公司的芯片程序都是兼容的，价格便宜，下载方式也都兼容，不二之选哦！不管做大做小，元件的布局都很重要，布局不好，导致跳线太多之类的情况出现，势必影响外壳的安装！有条件的可以做PCB，我用的是杜邦线直插（这样也方便初期的程序调试），最后肯定是要用焊锡拖焊到一起的。

1. 驱动部分

我采用的是74LS245，建议大家用HC系列的，视频演示的时候，我就全换成了HC系列的245。HC系列发热小，功耗小，价格便宜，只不过一定要记得在输入上加上拉电阻10kΩ，这样才能和TTL兼容，有朋友和我说HC系列的不稳定，我针对这点做了实验，结论就是加了上拉电阻后，效果和LS系列完全一样！245的19脚（使能端）就作为位码的选通脚，所有输入（段码）都是并联在一起的。

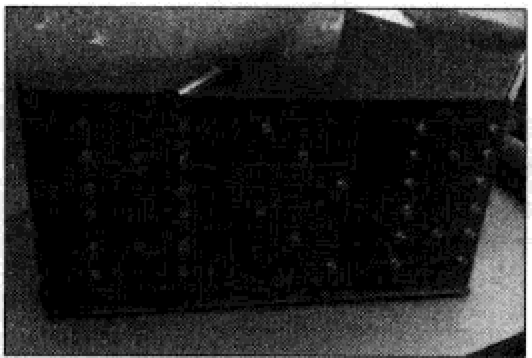


图6 小型骨牌时钟试验版本

2. DS1302部分

关于这部分，我想接触过一段时间单片机的朋友大概都会有所了解，DS1302是最常见的时钟芯片之一。这里要说一下，为了保证1302可以稳定工作，5、6、7脚一定要加10kΩ上拉电阻，最好把晶体振荡器的金属壳部分接地。这样才能保证DS1302工作得持久稳定。希望大家不要在这个环节偷懒。

3. 显示部分

骨牌时钟显示小时和分钟，最左边的显示小时（12小时制），中间的显示分钟的十位（0~5，其中0时不显示），右边的显示分钟的个位（0~9，其中0时不显示）。每个骨牌由上下两部分组成，上下两部分原理相同（参考原理图），只是查表的表值不一样，不管是左、中、右，哪个骨牌，都是先选中上面，再选中下面进行查表显示，等于是一个6位数码管，具体的看程序I/O设置就可以了。大家看了原理图就知道，其实就跟数码管差不多，只不过形状和传统的不一样，这也意味着表值是不一样的。表值在程序里，大家可以自行参考。

材料选择

1. 发光器材选择

为了做个“大个儿“的骨牌时钟，我选用的是8mm的高亮发光二极管。大家也可以选择做小一点的，选用一般的5mm发光二极管就可以了，根据实际情况对制作的背板进行一定比例的缩小。图4所示的就是我做好的5mm发光二极管试验版本，给大家做个参考。

我并没有为这个试验版本的时钟制作外壳，只有显示电路，主要是用来测试程序和硬件的。细心的朋友可以发现，中间的显示部分不需要焊接那么多的灯珠，但是考虑到以后可能需要显示日期、温度等扩展功能，就在大的制作上把所有的灯珠都焊接上了，各位朋友可以根据自己的实际功能情况选择灯珠的数量。

2. 底板选择

我在视频里展示的骨牌时钟的底板

TIPS

关于我们的Chinked-out工作室

我们工作室成立于2012年初，是重庆三峡职业学院教学改革的一大特色。工作室概念是由学院计算机控制技术专业教研室主任刘小平老师提出的，为了让学生更好地掌握单片机知识，学以致用，通过工作室设立单片机研发项目，以定期完成项目任务的形式锻炼学生应用能力。目前完成的项目设计有“篮球记分器”、“GPS无线时钟”。项目内容均制作出实物并给学院使用，具有一定的商业价值和市场前景。“led金字塔”和“骨牌时钟”这些作品，是学生的兴趣发挥，工作室鼓励学生做独创性设计。

刚成立时，我们只是叫做“项目工作室”，也没有刻意地想过要起什么名字，但是，改变都是有原因的，很大部分是受到《无线电》杂志和“爱折腾”网站的启发。

对我们这些初学者来说，《无线电》不仅是一本启蒙杂志，更是后来电子爱好者的不二之选。老师刚开始推荐给我们工作室学生的时候，大家几乎每天都讨论里面的设计，表达自己也是多么想做里面的东西。但时间久了我们就发现，里面的很多设计（主要是单片机类），资料并不完整，特别是程序上，有的作者是有所保留的，这对我们来说，是一种遗憾。很多单片机初学者都是从模仿开始学习的，但很多好的设计，并不一定能获得所有资料，这对初学者来说是难处，网络上很多上传的设计更是这样。后来我们想，如果我们有机会上传作品，一定要保证完全开源，特别是程序代码，一个符号都不能少，而且要有中文注释。

可是单单是开源是不够的，51单片机虽然是国内初学者的首选，但其性能毕竟是有限的，特别是浏览了爱折腾网站里的内容后，才发现不仅是我们不足之处太多，国内的水平与之比起来，也相差甚远。我也是经常在各种讨论群里或者网上请教单片机知识的，可我首先得到的不是知识，而是误解——很多人都说，“你还用51啊，功能不强”，“你编程用汇编啊，都啥年代了”，诸如此类。

现在，就有了很多问题摆在工作室面前，单单是学习哪种单片机这个话题，恐怕就够讨论很久了。就算选中某种单片机，怎么学习呢？网上太多的资料都是不完整的，好的资料还要付费！问题总是可以解决的，后来我们提出，向王力宏学习！这就有了Chinked-out名字。

Chinked-out是王力宏所创的华人嘻哈音乐曲风，把中国的五音律、民乐融入到乐曲中，虽然主要演奏的是钢琴等西洋乐器，可却是我们中国人的五音律，回味美妙乐曲的同时，不禁感慨中国千年文化流传至今，依然有如此强大的生命力。

Chinked-out给我们的启发就是，不要在乎表达的方式，而是强调表达的内容。有趣的是，我很喜欢写文章，但一直不曾被发表，没想到首次发表的文章是关于单片机的，但无论怎样，我能用文字表达我心之所想，这就是成功，何必在乎文章的内容是小说、散文还是科普呢？

我的专业学习的是51单片机，那我就用51怎么了？我入学的时候学习的汇编语言编程，那我就用汇编写程序，汇编怎么了？王力宏谱曲用五音律，虽然乐器是西洋乐器，但一样可以演奏出很多让人欲罢不能的歌曲。重点是，你想做什么，能不能做出来，能不能被大家认可！老外用Arduino做立方体，我不懂那个，我就用51做，金字塔也不是中国人发明的，但我可以用51做LED金字塔。你可能觉得单片机做一个时钟过于简单，那么我们就和民族文化结合起来，做骨牌时钟。简单的事情，一样可以做得不简单。最重要的是，我们做的这些小制作、小设计，是公开全部资料和源程序的。一个作品，毫无保留地拿出来让大众欣赏、批评，这样自己才能进步。

Chinked-out工作室，注重作品的原创性和表达性，而不强调技术性，原理可以很简单，但一定要有创意。坚持开源，让大众指出不足之处，互相学习，共同进步！

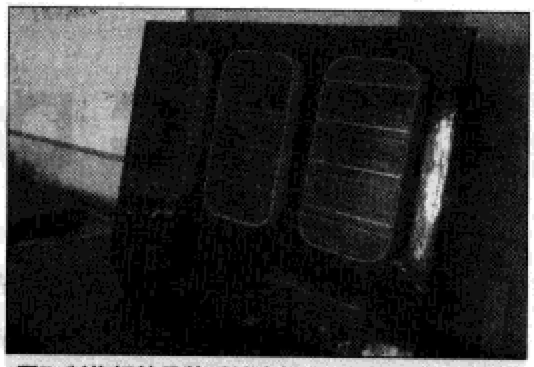


图7 制作好的骨牌时钟实物

用的是木板，尺寸为80cm×60cm。之所以在时钟表面看不到线，是因为我们在每个骨牌后面都挖了线槽，就像家里装修一样，走的都是暗线，这是很费时间和精力的。如果有朋友想做这么大的，那就不要怕辛苦。如果做小型的，直接焊接万能板就可以了，不费什么事儿，就是跳线而已。个人觉得呢，我们应该不怕折腾，我鼓励大家都做大型的，即便是做大了，也可以用5mm的二极管，选择那种可以投射出光圈的就可以了。这样，只要设置好面板与二极管的距离，就可以改变红点的大小，因为8mm的LED不仅价格贵了，也不节能。当然，大家也可以做个小型的精简版的，放在书桌上，也是挺不错的。

3. 边框

大家在视频里看到的骨牌，是用ABS板围成的，再盖上玻璃板或者塑料板（透明的就可以啦），板上贴了一层木纹纸。我用的是2mm厚的ABS板，刚开始很好用，但是经过比较，我发现1mm厚的ABS板更好用，所以建议大家用1mm的白色ABS板，价格也比较便宜。每个骨牌的尺寸为36cm×18cm×2cm。制作好的时钟如图7所示。

程序源代码（keil 4版本）

所用的程序是C语言的，本文不再详细介绍，感兴趣的朋友可以去《无线电》杂志的官方网站www.radio.com.cn下载。

骨牌时钟制作：视频1——简介：http://v.youku.com/v_show/id_XNDA5NTg4MjA4.html
视频2——工作介绍：http://v.youku.com/v_show/id_XNDA5NTk1MTg0.html
视频3——原理解说：http://v.youku.com/v_show/id_XNDA5NjI1MTIw.html

简易PLC DIY

◇尚程程

毕业两年多来，我一直从事工业生产工作，但是依然没有放下对单片机的喜爱，业余时学习、编程也大多与工业生产相关。我在工作中接触到不少PLC，也曾打开过一款罗克韦尔的PLC的CPU，不大的主板上一块ARM与一块FPGA构成了核心。我想虽然51确实有点老，但是不是也可以成为PLC的核心呢？即便不在生产中实际使用，用来学习也是不错的嘛，于是设计了一款，今天就将它发表出来，说不定能起到抛砖引玉的效果呢！

PLC简介

PLC的全称是Programmable Logical Controller，即可编程逻辑控制器，是一种专门用于工业环境的、以开关量逻辑控制为主的自动化控制装置，能够按照存储的程序将输入进行运算处理，再以一定的形式输出，控制各种生产过程。现在的PLC功能相当强大，其输入、输出并不局限于开关量，可以是模拟量，也可以是各种协议的通信。

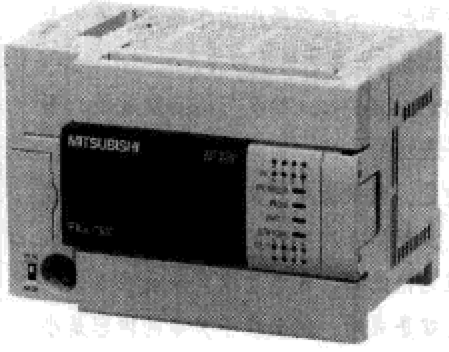


图1 一体式PLC

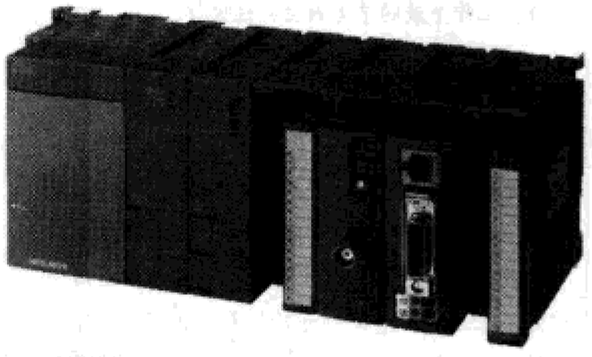


图2 模块式PLC

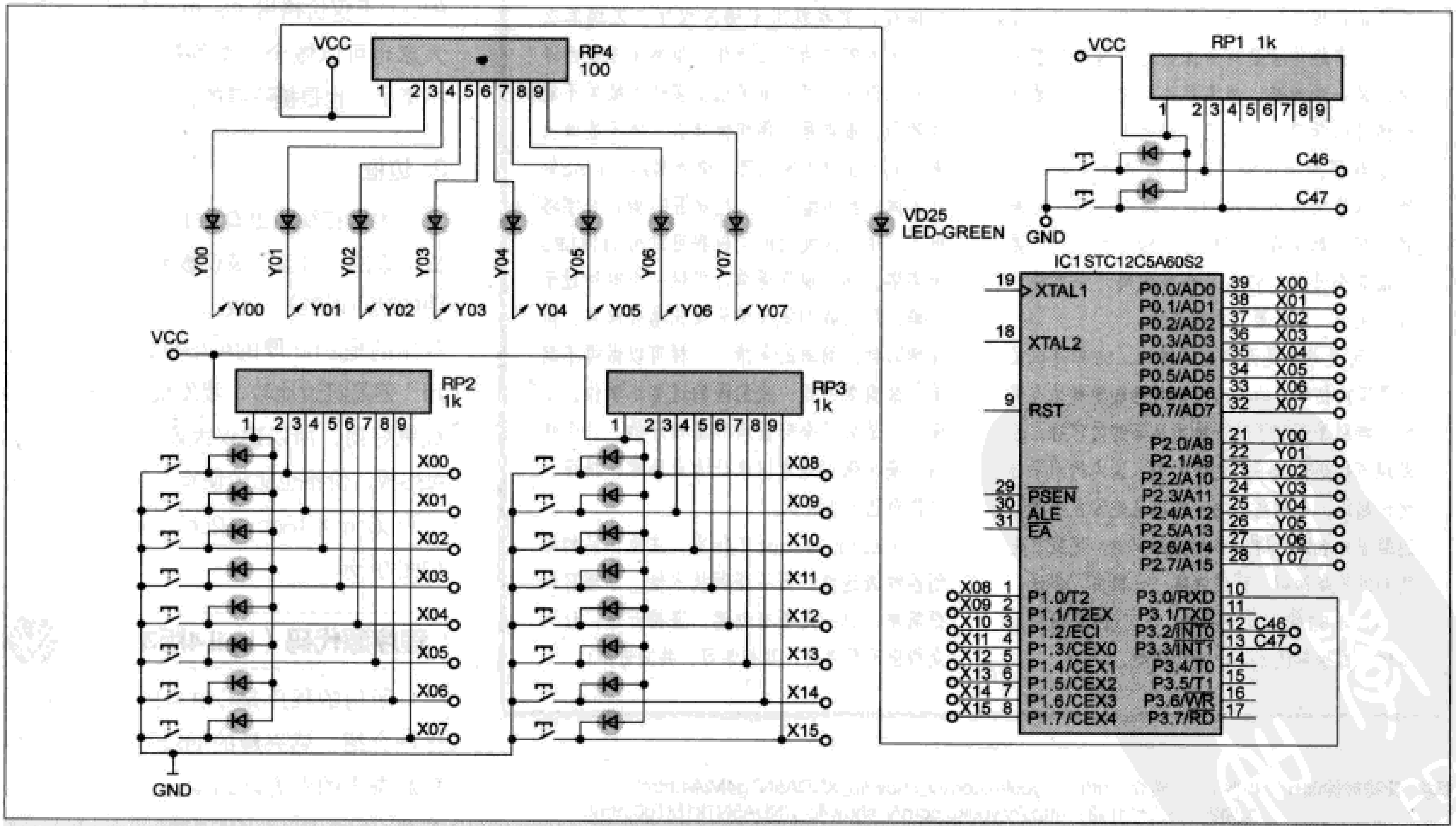


图3 简易PLC的电路图

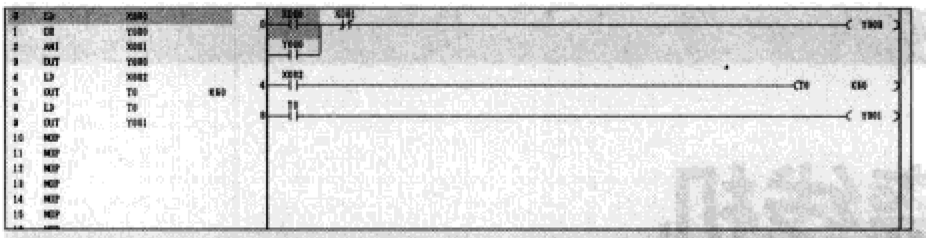


图4 梯形图

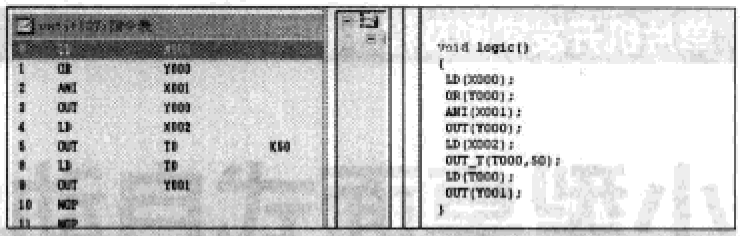


图5 指令表与Keil里的指令

也许有人会说：这不正是单片机所做的事吗？是的，只是术业有专攻，PLC根据其应用的环境进行了专业的进化。而且它离我们还很近，比如商场里的电梯、小区里的恒压供水系统等，都有PLC在为我们服务。

PLC通常以点数来区分大小，点数多的标志其控制能力也大。点数少的通常是整体形式的（见图1），点数多的则通常是模块式的（见图2）。不管大小和形式，典型的PLC都是由CPU、存储器、I/O接口、电源、扩展单元等组成的。其编程语言有梯形图语言、助记符语言、顺序功能图语言等几种，其中最常用的就是梯形图语言。

PLC采用循环扫描方式工作，每个循环周期先对输入进行采样，然后进行逻辑运算，最后输出刷新。

简易PLC的设计

本款简易PLC是基于51单片机开发的，由于PLC有许多内部元件，一般的51单片机资源不够用，所以采用了STC12C5A60S2，不仅有扩展的RAM，而且还有更快的运行速度。

既然是PLC，那么工作起来自然也是采用循环扫描的方式，主函数里仅有input( )、logic( )、output( )三个函数不停地循环。目前这款简易PLC的功能还不够强大，但可以完成一般的逻辑运算，所支持的指令只有26 条：LD、LDI、AND、ANI、OR、ORI、OUT、OUT_T、OUT_C、OUT_FC、RST_C、SET、RST、ORB、ANB、MPS、MRD、MPP、INV、LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP、ORF、NOP。

我在指令名称的书写上参考了三菱的样式，个别指令不得已写得有些区别，比如OUT是普通的继电器线圈，OUT_T是定时器线圈，OUT_C则是计数器线圈，在真正的三菱PLC指令里，它们都是一样的OUT。另外还有一些指令，如MOV、ADD、SUB、MUL、DIV、INC、DEC、WAND、WOR、SFTR、SFTL、SFTR、SFTL、CMP等，还在开发中，随着指令集的不断完善，功能也会越来越强大。

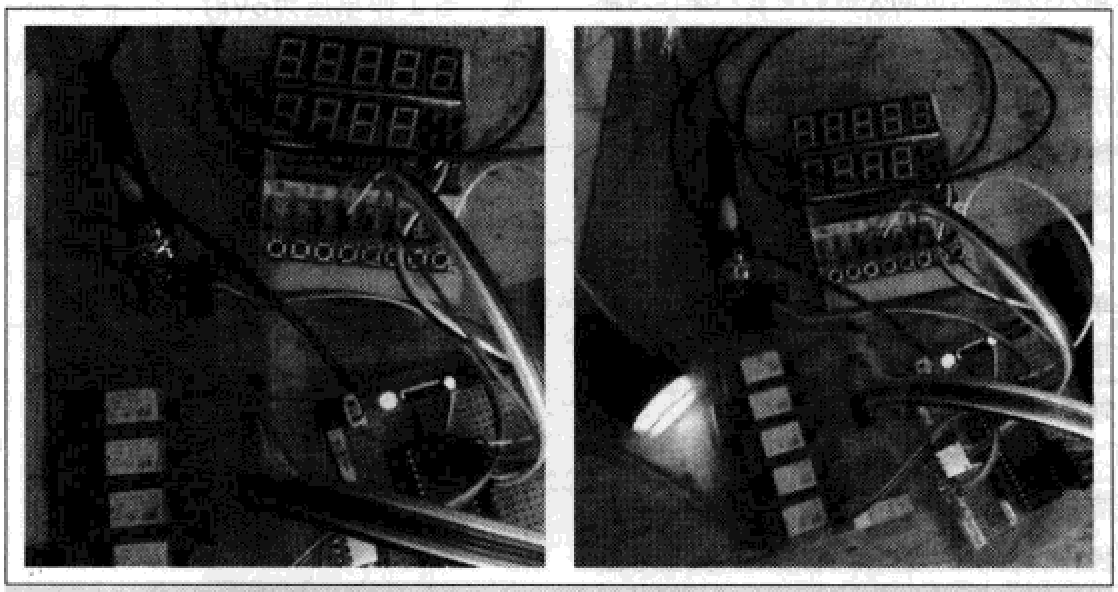


图6 简易PLC的实际运行情形

简易PLC的电路图如图3所示，比较简单，真正实际运用时需要增加光耦等，以增加抗干扰性和稳定性。在硬件上，P0口和P1口作为输入，P2口作为输出，分别是X00~X15、Y00~Y07，P3.2、P3.3作为高速计数器输入口，分别为C46、C47，这样总共有26点。P3口的其他为预留，用于以后的扩展。为了避免单片机刚上电时引脚初始化为高电平造成误输出，定义低电平作为有效的输入、输出。

目前可用的内部资源有：输入16点，输出8点，定时器48点，定时范围0~6553.5s，计数器48点，计数范围0~65535，其中C46、C47为高速计数器，辅助继电器128点，8位通用数据寄存器40个。另外还有一些与内部运算有关的资源不再一一描述。

所有的资源及指令都包含在一个头文件里，使用时用户要在新建的工程里包含该头文件并建立void logic( )函数，logic( )函数里的内容则是一条条的上述指令了。虽然叫作PLC，但毕竟还是用C语言编写程序，让单片机来模仿PLC工作，所以程序的编译仍然是用KEIL来完成的。在书写时还是必须按照C的要求，比如“；”是必不可少的。

熟悉PLC指令表编程的人可以直接编写，那不熟悉的人怎么办呢？怎样让形象的梯形图来帮助我们呢？其实也很简单，只要在三菱的FXGPWIN上用梯形图编程，如图4所示，编译通过后即可生成相应的指令表语句，这时只要逐条copy过来就可以了，如图5所示。但是要注意个别指令书写方式的不同哦！在自制的实验套件上的实际运行情形如图6所示。

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

小型桌面式自动绕线机控制器的设计及制作

绕线机就是把线状的物体缠绕到特定的工件上的机器。用绕线机绕制的线有漆包铜线（绕制电感线圈）、纺织线（绕制纺织机用的纱绽、线团）、电热线、焊锡丝、电线、电缆等。绕线机按自动化程度可分为手绕简易型、半自动型、全自动型，按安装方式又可分为桌面机和落地机。图1所示的是一种小型桌面式自动绕线机。

本文介绍一种小型桌面式自动绕线机控制器的设计，它主要适用于电信、电器、仪表行业，可绕制各种平绕线圈，特别适用于小型变压器、微型电机的定子线圈等多绕组线圈的绕制。其绕线圈数为0～9999圈，滑行圈数为0～99圈，工作电源电压为220V（交流），采用4位数码管显示器显示。

系统设计方案

小型桌面式自动绕线机控制系统方框图如图2所示，该系统主要由单片机控制器、EEPROM存储器、4位LED数码管显示器、按键输入电路、遮断式光电传感器、输出控制器（离合器）和电源等组成。

单片机采用Atmel公司价廉物美的AT89S51，它具有4KB的闪存，128B片上RAM，运行主频最高可达33MHz。EEPROM存储器采用Atmel公司的AT24C01A，可以进行100万次读/写操作，资料保存时间长达100年。4位高亮数码管模块组成的显示器可进行各种状态显示，例如显示绕制圈数设定、滑行圈数设定以及当前产量等。按键输入电路负责输入单片机中一系列工作参数及进行功能设定，如设定圈数和清除显示等。遮断式光电传感器实现对绕线圈数的计数，其基本原理是利用绕线轴上安装的铁片对光电传感器的遮断效应，绕线轴每旋转一圈，对光电传感器遮断一次，从而产生一个脉冲。输出控制器通过离合器完成绕线结束时的制动，离合器的工作电压为24V（DC）。电源部分负责对整个系统供电，交流电经降压后，整流、滤波、稳压成5V直流电源供单片机控制器工作。

电路设计

小型桌面式自动绕线机控制器的电路如图3所示，IC1为主控单片机AT89S51，晶体振荡器频率选为12.000MHz。IC3为单片机外挂的存储器AT24C01，用于记忆一系列设定的工作参数。本机共设有6个输入按键。4位高亮数码管显示器作为输入及运行时的人机界面，进行多功能显示。制作时需要注意，IC5只使用了一个施密特反相器，因此多余的反相器输入端应接地。

AT89S51应用很广，是一种大众化的单片机，其应用资料可以在网上找到，这里就不多介绍了。下面对串行EEPROM存储器AT24C01的特点作简单介绍。

AT24CXX系列是Atmel公司生产的高集成度串行EEPROM，可进行电擦除操作，提供的接口形式是I²C，其型号主要有AT24C01、AT24C02、AT24C04、

图1 一种小型桌面自动绕线机

AT24C08、AT24C16和AT24C64等，封装有DIP-8、SOIC-8和SOIC-14三种形式，如图4所示，目前生产的芯片主要是DIP-8和SOIC-8封装。

AT24CXX可以适应标准电压和低电压操作，能够使用的工作电压有5.0V（V_{cc}=4.5~5.5V）、2.7V（V_{cc}=2.7~5.5V）、2.5V（V_{cc}=2.5~5.5V）、1.8V（V_{cc}=1.8~5.5V）。其数据传输速率可变：当工作电压为5V时，传输速率是400kHz，当工作电压为2.7V、2.5V及1.8V时，传输速率是100kHz。AT24CXX采用分页式存储方式，每页的大小为8字节，根据内存容量的不同，支持不同大小的页面

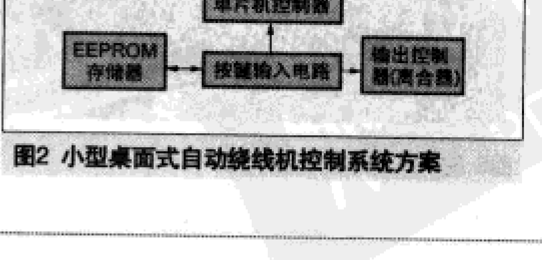


图2 小型桌面式自动绕线机控制系统方案

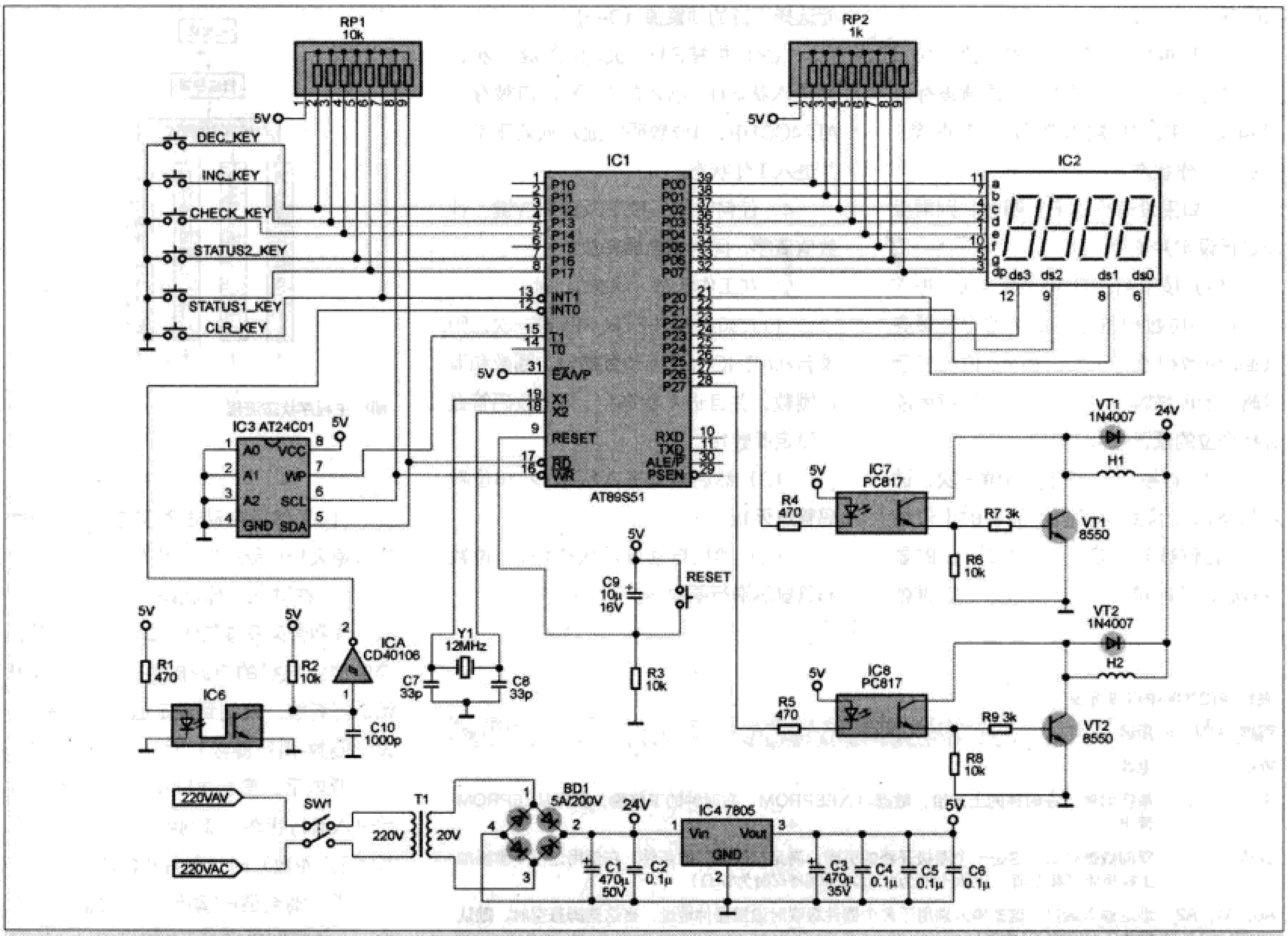


图3 小型桌面式自动绕线机控制器电路

写入方式。其自计时写周期小于10ms。

软件设计

主函数的工作过程为：先进行初始化工作，然后扫描按键，根据键值进入各自的工作模块进行处理。主程序流程如图5所示。完整程序较长，读者可以到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

工作状态的设定及使用

实际应用时，工作状态的设定步骤较多，简述如下。

1．绕线机上电后，单片机即从AT24C01中读出预存设定的绕制圈数和滑行圈数，并进入绕线工作状态（状态0），4位数码管显示当前的计数值。

2．如果没有预存绕制设定圈数，则需重新进行设定并预存。

（1）按STATUS1_KEY键一次，进入状态1，4位数码管显示器中的个位最亮，其他3位的显示较暗，此时按INC_KEY或DEC_KEY键就能选择个位的预置值（0~9）。

（2）再按STATUS1_KEY键一次，进入状态2，4位数码管显示器中的十位最亮，其他3位的显示较暗，此时按INC_KEY或DEC_KEY键就能选择十位的预置值（0~9）。

（3）再按STATUS1_KEY键一次，进入状态3，4位数码管显示器中的百位最亮，其他3位的显示较暗，此时按INC_KEY或DEC_KEY键就能选择百位的预置值（0~9）。

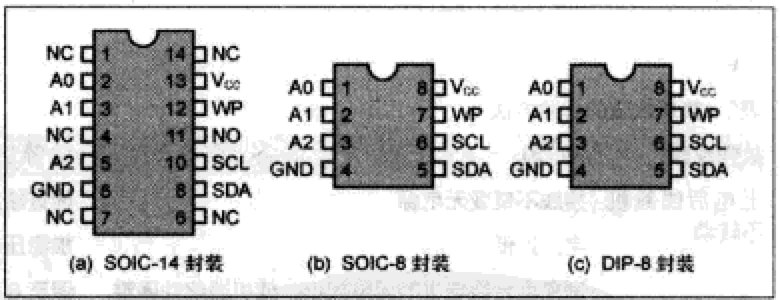


图4 AT24CXX三种封装形式的引脚定义

（4）再按STATUS1_KEY键一次，进入状态4，4位数码管显示器中的千位最亮，其他3位的显示较暗，此时按INC_KEY或DEC_KEY键就能选择千位的预置值

（0~9）。

（5）再按STATUS1_KEY键一次，又进入状态0，刚才的4位预置值被存入AT24C01A中，4位数码管显示恢复正常，并进入工作状态。

3．如果没有预存滑行圈数，则需重新进行设定并预存。

（1）按STATUS2_KEY键一次，进入状态6，2位数码管显示器中的个位最亮（高2位数码管熄灭），另外1位的显示较暗，此时按INC_KEY或DEC_KEY键就能选择个位的预置值（0~9）。

（2）再按STATUS2_KEY键一次，进入状态7，2位数码管显示器中的十位最亮（高2位数码管熄灭），另外1位的显示较暗，此时按INC_KEY或DEC_KEY键就能选择十位的预置值（0~9）。

（3）再按STATUS_KEY键一次，又进入状态0，刚才的2位预置值被存入AT24C01中，4位数码管显示恢复正常，并进入工作状态。

4．任何时候，按下CLR_KEY键，计数值清零，同时离合器释放。

5．在工作状态（状态0）时。

（1）如果按CHECK_KEY键一次，则重新从AT24C01读出预置的设定圈数和滑行圈数。并且进入状态11，4位数码管显示设定圈数1s。

（2）然后自动进入状态12，4位数码管熄灭1s。

（3）然后自动进入状态13，4位数码管显示滑行圈数1s。

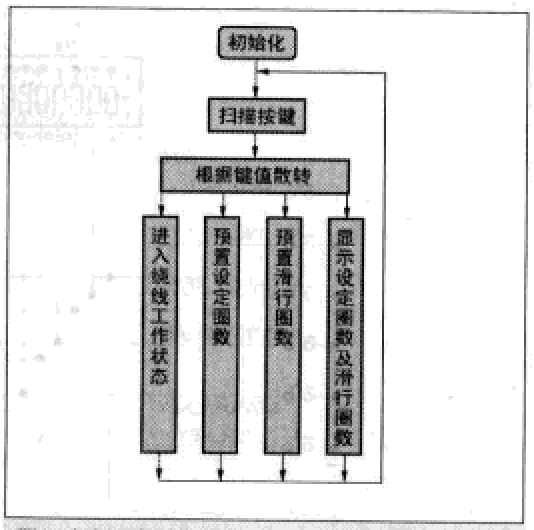


图5 主程序状态流程

（4）然后自动进入状态14，4位数码管熄灭1s，最后又回到状态0。

6．在进入工作状态（状态0）时，放入线圈骨架及漆包线，踩下脚踩开关，控制绕线电机的电源接通，绕线电机开始进行绕线。绕制到预定值（绕制圈数=设定圈数-滑行圈数）时，单片机的P2.7输出低电平，离合器H2动作，绕线盘开始进入滑行状态，绕制到设定值（绕制圈数=设定圈数）时，单片机的P2.5也输出低电平，离合器H1动作，绕线盘进行刹车。一次绕制完成。

7．放入下一个线圈骨架及漆包线后，按一下CLR_KEY键，则将当前显示值清除，同时2个离合器释放，进入下一次绕制过程。

表1 AT24CXX的引脚定义

引脚	用途
Vcc	电源
SCL	串行时钟，在时钟的上升沿，数据写入EEPROM；在时钟的下降沿，数据从EEPROM读出
SDA	双向数据端口。这是一个漏极开路的引脚，满足“线与”的条件，在使用过程中需要加上拉电阻（典型值：100kHz时为10kΩ，400kHZ时为1kΩ）
A0、A1、A2	地址输入端口，这些输入端用于多个器件级联时设置器件地址，当这些脚悬空时，默认值为0（AT24C01除外）
WP	写保护，当该引脚连接到GND或悬空时，芯片可以进行读/写操作，当连接到Vcc时，则所有的内容都被写保护（只能读）
GND	地

表2 简单故障的排除方法

故障现象	原 因	排 除 方 法
上电后绕线机不转动	接线不良或无电源	检查接线
	电压过低	加稳压器、保证在220±22V范围内
	刹车离合器磁吸的间隙过小，使机器起动困难	调至 0.3mm 左右为宜
	电脑控制器有故障	检查修好
机器噪声	螺丝松	检查各部位螺丝并紧固
	轴承磨损	换轴承
	转动部位缺润滑油	加注润滑油
	传动皮带过紧	调至合适
惯性匝数过多或到规定匝数后不停机	主皮带轮固定螺丝松	拧紧
	滑行离合器或刹车离合器磁吸弹簧座及拧紧弹簧片螺丝松，刹车不起作用	拧紧
	传动皮带松	调至合适
	刹车离合器磁吸磨擦片磨损	更换新磨擦片

安装及使用注意事项

1．小型桌面式自动绕线机应安装在较坚固的木质工作台上，为了减少绕线机的振动，绕线机底板上有多个固定孔用于固定安装。

2．把绕线机套轴安装在绕线机主轴上，拧紧固定螺丝，并检查绕线套轴是否松动、弯缺，绕线轴在运转时应保持同心。

3．对每班首件绕制线圈按规定进行圈数测量，如有误差，请检查绕线轴或骨架是否松动、打滑，光电传感器与转盘是否脱离，光电传感器是否积灰。

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

利用单片机与CPLD设计的等精度频率计

将CPLD的高速数据采集能力与单片机的灵活运算、高效控制能力结合起来，发挥各自的专长，可制成一种计数频率达100MHz的低成本智能数字频率计。显示部分使用16×2字符型液晶显示器，可对测量的频率、周期进行实时显示（如有必要还可显示占空比）。

等精度测量频率的原理

测量频率的传统方法主要有直接测量法、分频测量法、测周法等，这些方法往往只适用于测量某一段频率，当被测信号的频率发生较大变化时，测量的精度就会下降。而基于等精度原理测量频率的方法，在整个频率测量过程中都能达到相同的测量精度，并且与被测信号的频率变化无关。等精度测量的波形原理见图1。

由图1可见，等精度测量时的实际门控时间（实际闸门）不是一个固定值，而是一个与被测频率信号有关的值——刚好是被测信号的整数倍。

在实际门控时间内，同时对标准信号和被测信号进行计数，再通过数学公式推导得到被测信号的频率。由于实际门控信号是被测信号的整数倍，就消除了对被测信号产生的±1计数误差，但是会产生对标准信号±1的计数误差。

由于标准频率信号一般采用晶体作为标准信号发生源，因此可以达到很高的精度。

本系统采用智能的闸门控制方式，频率测试范围在0.1~1Hz时，闸门时间为10s，而频率测试范围≥1Hz时，闸门时间为1s。

在实际门控时间内，对标准信号和被测信号同时进行计数，设被测信号的频率为F_x，周期为T_x，标准信号的频率为F_b，周期为T_b，那么测得的被测信号脉冲数为CNT_x，测得的标准信号脉冲数为CNT_b。

则有：$CNT_x \times T_x = CNT_b \times T_b$

被测信号频率为：$F_x = (CNT_x \times F_b) / CNT_b$。

被测信号周期为：$T_x = 1/F_x$。

式中：$F_x = 1/T_x$，$F_b = 1/T_b$。

系统方案及电路设计

本系统主要由单片机加CPLD实现，利用单片机内部定时器定时，控制外部CPLD实现等精度测量。标准频率F_b由单片机的晶体振荡器产生，频率为单片机时钟晶体振荡器12分频后所得的机器时钟。软件闸门由单片机引脚P3.6输出控制，32位CPLD计数器清零和复位由单片机引脚P3.7输出控制，单片机引脚P3.2（INT0）是单片机内部定时器T0使能开关控制引脚。测得的频率由1602字符型液晶屏显示。

大家知道，使用51单片机定时器/计数器时，当C/T=0、TR=1、GATE=1时，单片机内部计数器时钟开关受外部引脚INTn控制，这样就可以实现单片机内部计数器与外部计数器同步开关。例如，使用定时器T0时，T0内部计数器时钟开关受外部引脚INT0控制。

等精度频率计系统构成框图如图2所示，电路原理如图3所示。

请读者朋友注意，图3的电路为简化

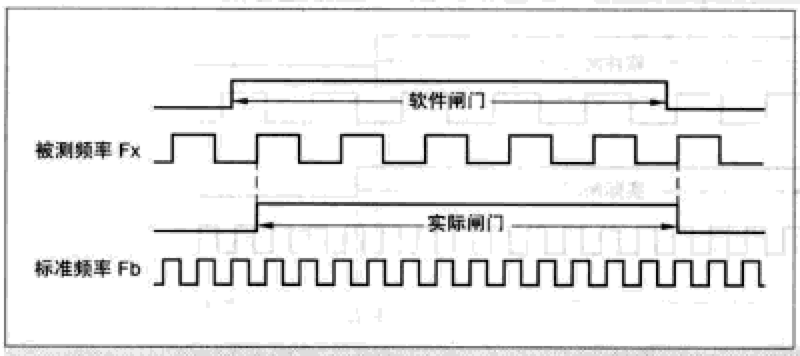


图1 等精度测量的波形原理

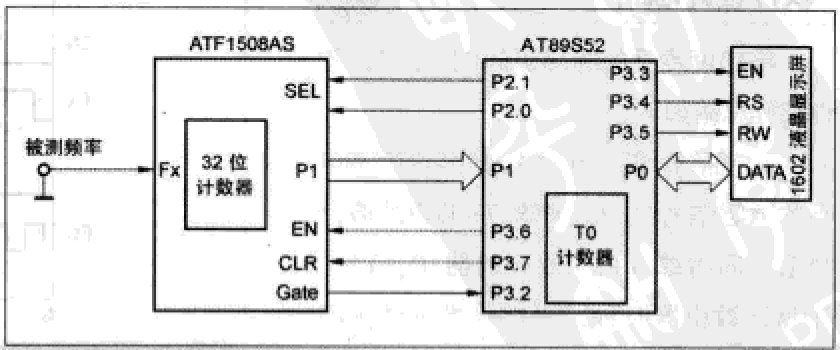


图2 等精度频率计系统构成框图

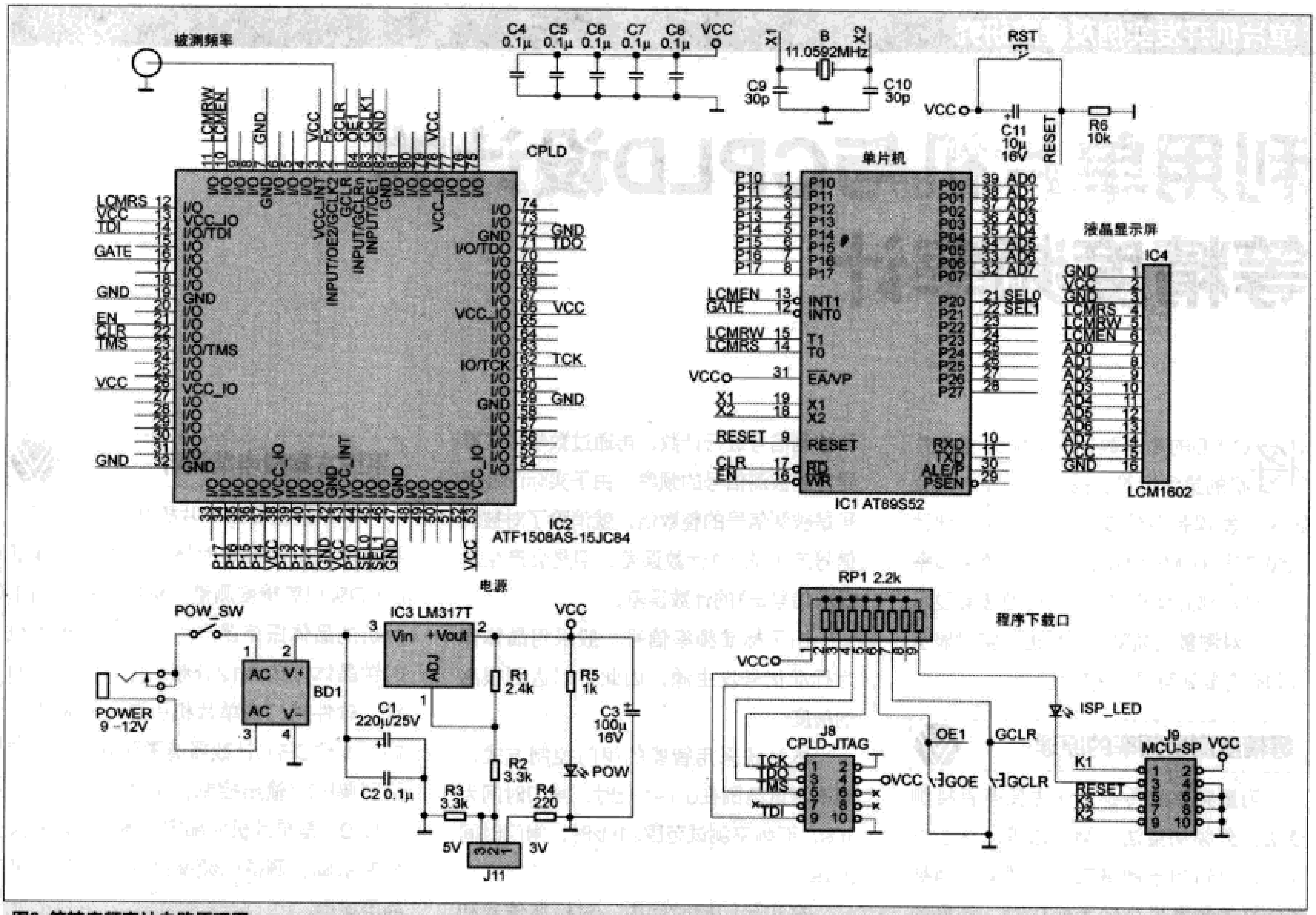


图3 等精度频率计电路原理图

的实验型等精度频率计电路，因此没有对被测信号进行前置放大、调理与整形，因为实验过程使用的信号发生器输出幅度可以达到5V，因此信号发生器的输出频率（即等精度频率计的被测频率）信号fx直接输入给ATF1508AS的2号脚。如果读者想做出产品，可自行添加前置信号的放大、调理与整形电路。

软件设计思路

等精度测量的时序逻辑图见图4，软件编程思路如下。

1. 在$t0$时刻，单片机发出一个高电平的清零信号CLR，清除CPLD内的原计数值，同时单片机启动定时器T0、T1。T0将计数机器时钟，T1将计数软件闸门时间。

2. $t1$ 时刻 MCU 发出测量启动信号 EN（高电平），使 GATE=1，T1 计数器开始计数(软件闸门)，同时CLR降为低电平。

3. $t2$时刻，在被测信号上升沿的作用下，开启实际计数闸门，T0计数器开始计数机器时钟，CPLD开始计数被测信号。

4. $t3$时刻，单片机发出软件闸门停止信号。

5. $t4$时刻，在被测信号的上升沿到来时，将T0、T1这两个计数器同时关闭，实际计数闸门关闭。

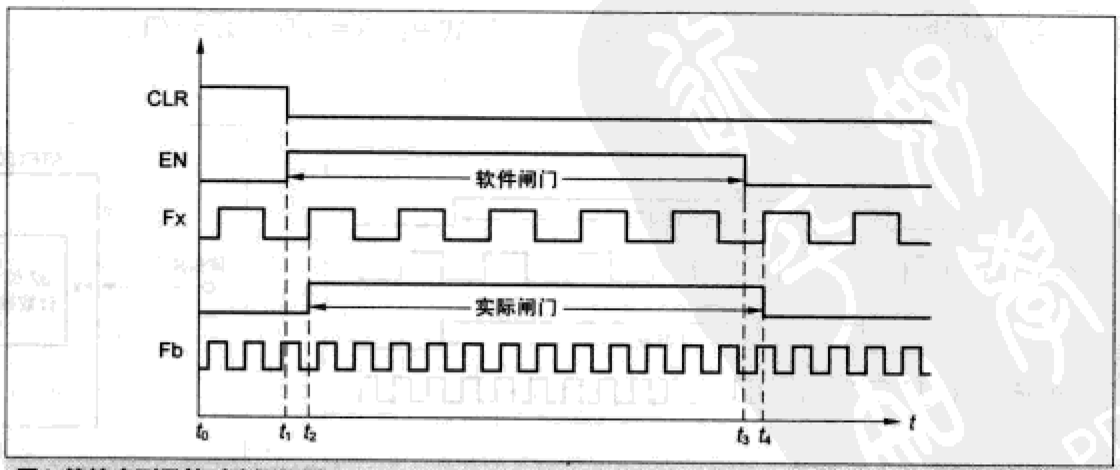


图4 等精度测量的时序逻辑图

CPLD程序设计

CPLD程序采用Verilog HDL硬件描述语言设计，它是目前应用最广泛的一种硬件描述语言，由于程序比较短小，这里介绍如下。

文件名：counter32.v

```
module counter32(P1,EN,CLR,SEL,fx,Gate,);//模块声明及输入输出端口列表
input EN,CLR,fx;//定义输入端口
input[1:0] SEL;//定义输入端口
output[7:0] P1;//定义输出端口
output Gate;//定义输出端口
reg[31:0] counter;//定义counter为寄存器类型的32位变量
reg Gate;//定义Gate为寄存器类型变量
reg[7:0] P1;//定义P1为寄存器类型的8位变量
always @ (negedge fx or posedge CLR)//每当fx产生下降沿或CLR产生上升沿时
begin
if(CLR)Gate=0;//如果CLR为高电平，那么Gate输出低电平
else Gate=EN;//否则将EN值传给Gate
end
always @ (posedge fx or posedge CLR) //每当fx产生下降沿或CLR产生上升沿时
```

表1 等精度频率计的CPLD引脚分配

引脚名	引脚号	输入或输出
fx	2	输入
SEL[1]	46	输入
SEL[0]	45	输入
EN	21	输入
CLR	22	输入
Gate	16	输出
P1[7]	34	输出
P1 [6]	35	输出
P1[5]	36	输出
P1[4]	37	输出
P1 [3]	39	输出
P1[2]	40	输出
P1 [1]	41	输出
P1 [0]	44	输出

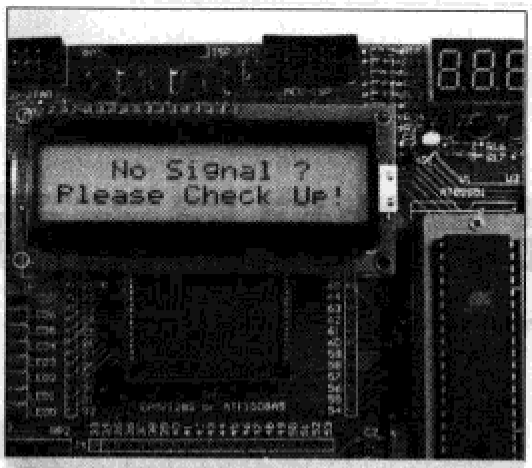


图5 无信号输入时的提示

```
begin
if(CLR)counter=0; //如果CLR为高电平，那么计数器counter清零
else if(Gate)counter=counter+1;//如果Gate为高电平，计数器计数
else counter=counter;//否则不计数
end
always @ (SEL or counter)//每当SEL或counter发生变化时
begin
case (SEL)
2'b00:P1=counter[7:0];//如SEL为00，P1口输出计数器的0~7位
2'b01:P1=counter[15:8];//如SEL为01，P1口输出计数器的8~15位
2'b10:P1=counter[23:16];//如SEL为10，P1口输出计数器的16~23位
2'b11:P1=counter[31:24];//如SEL为11，P1口输出计数器的24~31位
default:P1=8'hzz; //否则P1口为高阻态
endcase
end
endmodule
```

在CPLD开发过程中，我们使用Altera公司的Quartus Ⅱ集成开发软件进行设计，设计时的芯片选择为EPM7128，引脚分配见表1。编译通过后，将生成的Altera *.pof文件转换为可供Atmel CPLD下载的*.jed文件，最后将*.jed文件下载到ATF1508AS芯片中。之所以选择Atmel的ATF1508AS，主要是因为它的价格比较便宜，并且可以烧写10000次以上。

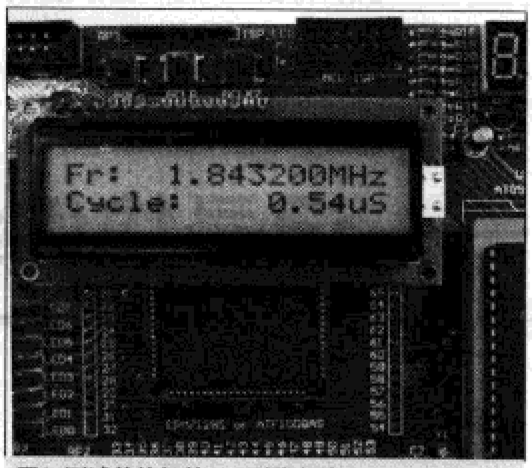


图6 测试单片机的ALE引脚频率

单片机程序设计

单片机程序分为主控程序和液晶屏驱动程序两部分，由于程序较长，这里就不介绍了，读者如有需要，可到《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn下载。

应用

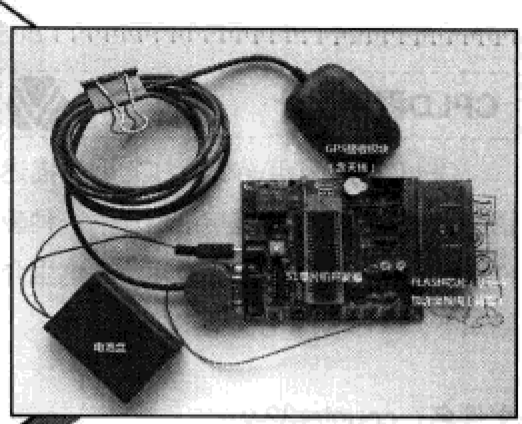
本频率计工作在数字信号状态，因此只要元器件安装、焊接正确，程序烧写无误，无需做其他的调试即可正常工作。

开机后，电路先进入对fx≥1Hz信号的搜索，如果没有探测到输入信号，1s后进入对0~1Hz信号的搜索。如果还是没有探测到任何输入信号，那么在10s后，液晶屏会出现提示，告诉你现在没有信号输入，如图5所示。

当将单片机的ALE引脚频率作为测试信号输入到ATF1508AS的2号脚时，我们能看到液晶屏上立刻显示出测到的频率，见图6。大家知道，ALE引脚的输出信号频率是晶体振荡器频率的1/6，晶体振荡器频率为11.0592MHz，除以6等于1.8432MHz，由此可见本频率计的测试精度非常高，并且同时还能输出被测信号的周期。经与标准市售频率计对比后，发现其误差小于10^{-7}，完全能够胜任大部分测量要求。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

快递追踪器
——记录快件经历的风风雨雨



◇成谏

如今，快递已经融入了人们的生活，收快递有时候也变成了没空的托词。国内快递品牌繁多，服务水平参差不齐，在给我们消费者带来更低廉价格的同时，也带来了不少的烦恼。快件丢失、损坏变得司空见惯，每次买东西都会习惯性地提醒店家“麻烦包装好，如今快递不靠谱”。

每次拿到快递，看到变形的包装，总会想象它到底经受了怎样了蹂躏。那我们就把自己“打包”起来，作一回快递，感受一下快递一路经受的“风风雨雨”吧！

由于我们人太大，还不经摔，所以打包的当然不是我们自己，我们设计了一个快递追踪器，包含GPS模块、加速度模块等，对快递的路线以及快递运送过程中的磕磕碰碰进行记录。这个追踪器由GPS接收模块、Flash芯片、加速度模块、51开发板以及电池盒组成，如图1所示。下面我们仔细了解一下这个追踪器。

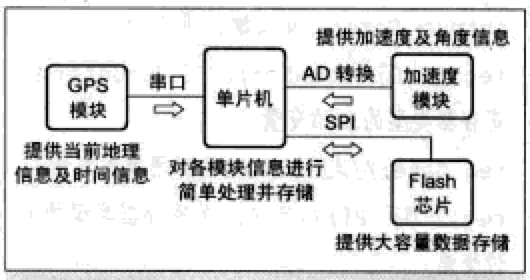


图1 快递追踪器

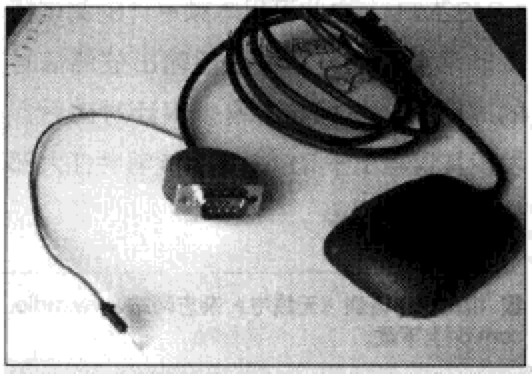


图2 GPS接收模块

各模块介绍

1. GPS接收模块

这里使用的是一块旧的GPS接收模块，如图2所示，市场价在30元左右，用于接收GPS数据。接收模块原本使用的是RJ-11水晶头，为了方便和开发板上的标准9针串口连接，我自己制作了一个接头。焊接好后，把插头放进两个饮料瓶盖（经过美工刀处理后）里，并挤入热熔胶进行填充。由于九针串口没有VCC，所以模块供电就通过外接的一根面包板线完成。完工后的自制插头如图3所示。

GPS数据中包含经度、纬度信息，时间信息以及GPS卫星的有关信息。其中推荐定位信息（GPRMC）的格式如下：

```
$GPRMC,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>*hh
```

<1> UTC时间，hhmmss（时分秒）格式。

<2> 定位状态，A=有效定位，V=无效定位。

<3> 纬度ddmm.mmmm（度分）格式（前面的0也将被传输）。

<4> 纬度半球，N=北半球，S=南半球。

<5> 经度dddmm.mmmm（度分）格式（前面的0也将被传输）。

<6> 经度半球，E=东经，W=西经。

<7> 地面速率（000.0~999.9节，前面的0也将被传输）。

<8> 地面航向（000.0°~359.9°，以正北为参考基准，前面的0也将被传输）。

<9> UTC日期，ddmmyy（日月年）格式。

<10> 磁偏角（000.0°~180.0°，前面的0也将被传输）。

<11> 磁偏角方向，E=东，W=西。

<12> 模式指示（仅NMEA0183 3.00版本输出，A=自主定位，D=差分，E=估算，N=数据无效）。

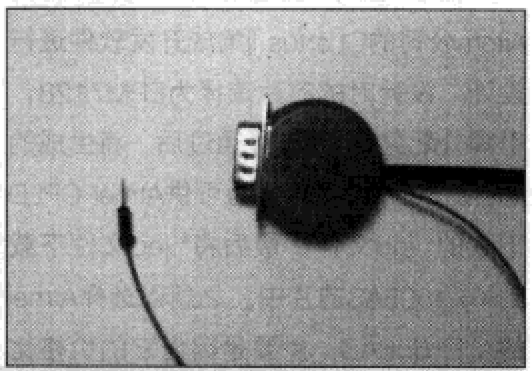


图3 自制串口插头

例如$GPRMC,024519.214,A,3315.7712,N,11954.9589,E,0.00,,240812,,*1E对应翻译后可以得出当前定位信息为：北纬33°15.7712′，东经119°54.9589′（不知道是不是谷歌地图的误差，这个坐标离我家实际位置有500m左右的误差），日期为2012年8月24日。

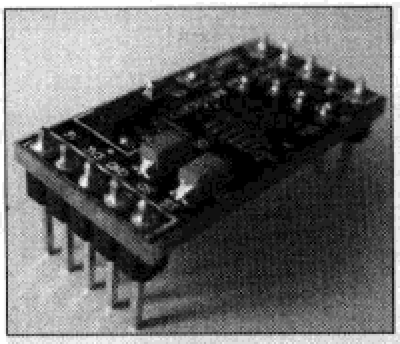


图4 MMA7361模块

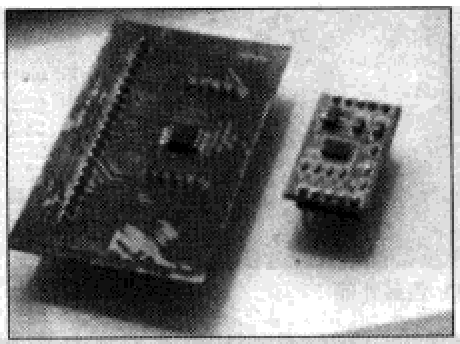


图5 转接板（左）及加速度模块（右）

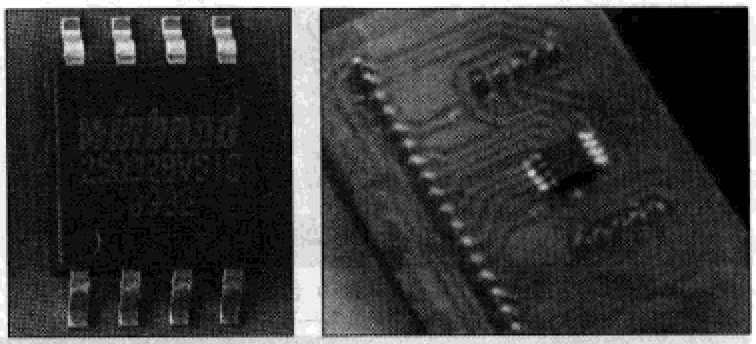


图6 焊接在转接板上的W25Q32

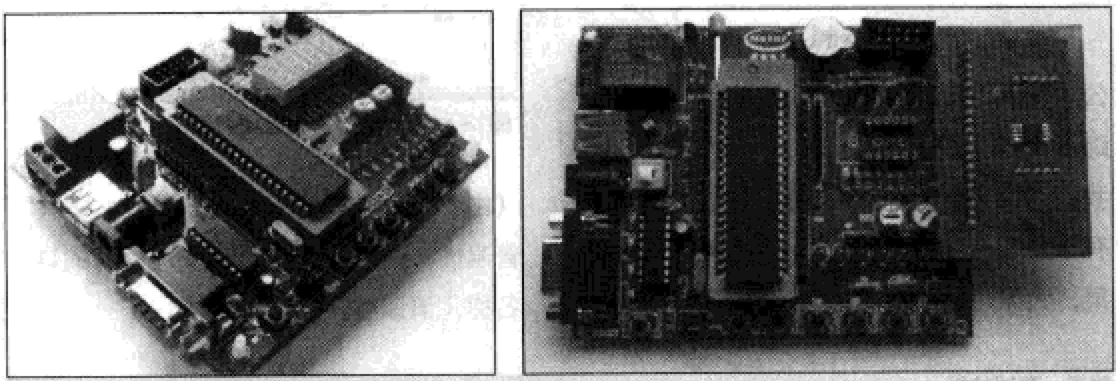


图7 XQ_L2A 51单片机开发板

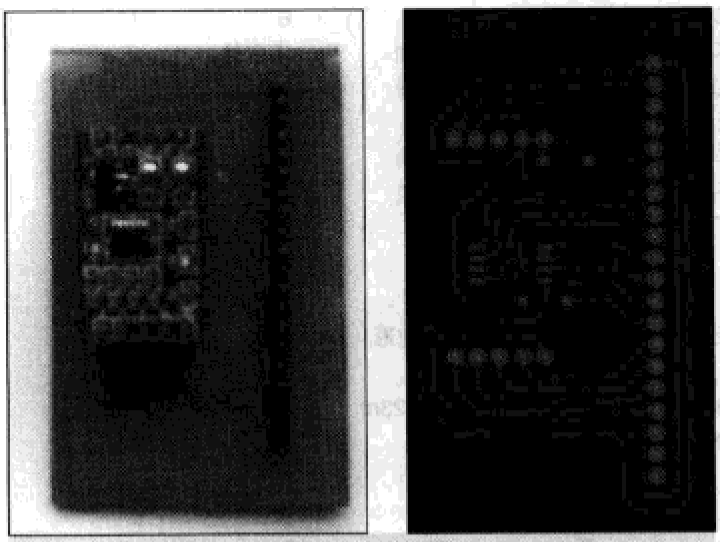


图8 转接板（正面、ARES图纸）

另外，从其他语句中可看出当前可视卫星数为7颗，其微信号分别为03、87、277、29、19、55、206，可见当前信号还是不错的。想了解更多关于GPS数据的内容请自行查找，这里不多介绍。

2. 加速度模块

MMA7361是一款低成本微型电容式加速度传感器，可用于测量加速度及角度，如图4和图5所示。借助这一模块，可以对快件在运送过程中所受的碰撞以及摆放姿态进行记录。

通过单片机AD转换，量化x、y、z三轴电压并进行计算，便可获得加速度以及角度信息。另外，由于这一模块的量程较为有限，从1m高跌落产生的加速度就会超出量程，我们记录超出量程的次数，也就可以计数快件运送过程中发生较大碰撞的次数。

3. Flash芯片

W25Q32为华邦（Winband）开发的一款基于SPI的闪存芯片，如图6所示。我们使用的单片机为STC12C5A60S2，不支持SPI接口，需要通过I/O口模拟SPI进行数据读写。另外W25Q32的工作电压为2.7~3.6V，单片机使用5V供电，要注意电压的不同。我们通过加速度模块上自带的5V转3.3V电路为W25Q32芯片供电。W25Q32的其他引脚可与单片机直接连接，数据读写不会受电压的影响。具体引脚定义及读写时序请参考相关数据手册。

4. 51单片机开发板

XQ_L2A 51是一款很常见的51单片机开发板，如图7所示，价格也很低廉。我们使用板载的12864液晶屏插口作为模块接口，连接单片机4个P1引脚，正好用于加速度模块的AD转换。其他引脚连接P0口，用于模拟Flash芯片的SPI接口。

5. 自制连接板

为了方便连接，我们专门设计制作了一块连接板，如图8所示。其正面是加速度模块的连接座，背面为W25Q32贴片位置。

模块装箱

开发板、电池盒、GPS接收模块都通过双面胶粘贴在包装内，固定后包裹上保护膜，如图9所示。包装内还放有污损比对卡以及一张记录卡，用于记录快件的一些信息，如图10所示。外包装上贴有3个测试标签，用于检查外观污损情况，如图11所示。

数据提取与处理

1. 数据提取

由于开发板只有一个串口，所以提取数据时必须拔去GPS模块，接上USB转串口模块。为了区分数据提取和数据采集这两种工作模式，我们在编写程序时定义了一个按键用于区分这两个模式。单片

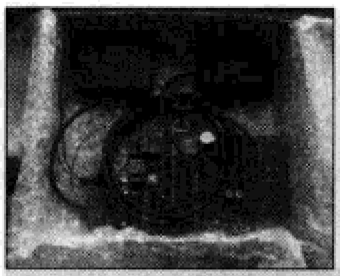


图9 开发板、电池盒、GPS接收模块都通过双面胶粘贴在包装内

图10 包装内还放有污损比对卡以及一张记录卡

图11 包装外部

机上电时，会自动检测这个按键是否被按下，如果被按下，则打开串口等待数据读取指令。如果未被按下，则进入数据采集模式。

进入读取模式后，将模块连接电脑，打开串口助手，设置波特率后，发送“#READ”指令，单片机会自动从头读取Flsah芯片中的数据，并通过串口发送给计算机，如图12所示。另外我们在程序中写入了“#CLEARALL”指令用于芯片清空。

2. 数据处理

串口所收到的原始数据是单片机将各模块所收到的信息进行简单处理后存储到Flash芯片的数据。格式定义如下：

```
#*GPRMC,024518.214,A,3315.7653,N,
11954.9529,E,240812*10,0,1*10&
```

#：开始标记

*：段落标签

GPRMC：GPS数据标签

024518.214：时间，2点45分18.214秒（UTC时间）

A：定位标记，A=有效定位，V=无效定位

3315.7653：33° 15.7653′

N：北半球

11954.9529：119° 54.9529′

E：东半球

240812：2012年8月24日

10：x轴瞬时读数

0：y轴瞬时读数

1：z轴瞬时读数

10：加速度取模值

&：结束标记

后期处理

暑假期间，我们总共选取了5家快递公司往返苏州与盐城之间寄送这个快递追踪器。通过保存在Flash芯片中的数据，我们对快递在运送过程中经历的“坎坷”有了一些了解。下表是我们整理后的结果，大家可以看看价格和服务是否匹配。

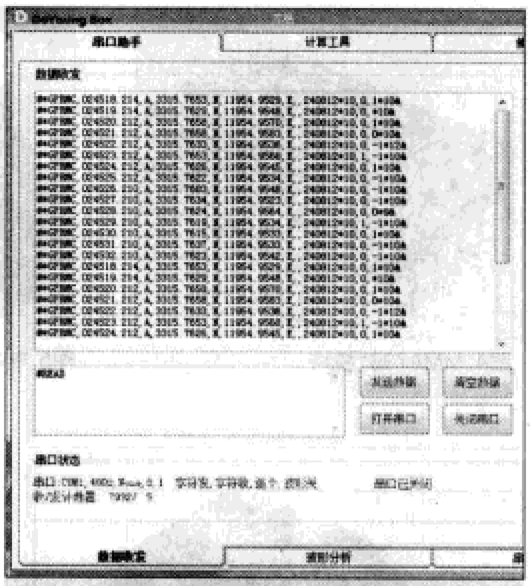


图12 计算机通过串口收到的数据

（由于我们进行实验的次数较少，不具有普遍性，所以我们未公布快递公司的具体名称，请谅解。）

附表 测试结果

	项目	品牌一	品牌二	品牌三	品牌四	品牌五
盐城往苏州方向寄送	是否称重	否	否	否	否	否
	快递费用（元）	10	7	20	6	15
	取件员着装	不取件	不取件	其他	不取件	不取件
	取件员是否礼貌	礼貌	一般	一般	一般	一般
	有无塑料袋包装	无	无	无	无	有
	派件员着装	其他	其他	其他	其他	其他
	派件员是否礼貌	一般	一般	礼貌	一般	一般
	污损标签上面	0	0	0	1	1
	污损标签侧面	0	0	0	1	0
	污损标签下面	1	0	1	3	0
	包装变形	轻微	轻微	无变形	轻微	轻微
	有无提前打开	无	无	无	无	无
	用时（小时）	10h32m	11h02m	10h23m	26h54m	18h10m
	超量程记录（次）	139	76	49	196	81
苏州往盐城方向寄送	是否称重	否	否	是	否	否
	快递费用（元）	10	7	20	6	15
	取件员着装	工作服	工作服	工作服	不取件	其他
	取件员是否礼貌	礼貌	一般	礼貌	一般	礼貌
	派件员着装	工作服	工作服	其他	工作服	其他
	派件员是否礼貌	礼貌	礼貌	礼貌	一般	一般
	有无塑料袋包装	无	无	有	无	有
	污损标签上面	0	1	0	1	0
	污损标签侧面	0	2	0	0	0
	污损标签下面	0	0	0	0	0
	包装变形	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微
	有无提前打开	无	无	无	无	无
	用时（小时）	12h02m	10h49m	19h44m	25h35m	18h12m
	超量程记录（次）	87	数据丢失	60	102	36

注：1. 取件员着装一栏标为“不取件”是由于不上门取件所以无法填写。
2. 超量程记录是指加速度模块超出量程的次数，即有较大碰撞的次数。数据丢失是由于设备损坏而引起数据丢失。
3. 污损标签是贴在包装上的白色贴纸，用于衡量外包装污染情况。数字是与标准色卡比对的结果。
4. GPS模块在室内和车厢内都无法定位，收集到的数据大部分都是在中转站的数据。但是由于无相关测绘软件，所以数据无太大实用价值，因而没有公布。
5. 结果存在偶然性，请勿对号入座。

◇盘桥富　卞晓强　边晓明

基于STC89C52和nRF905模块的无线打分器

数据的无线传输技术有着广阔的发展前景，越来越受到消费者的欢迎，逐渐成为生活中不可缺少的一项实用技术。搞活动时经常需要涉及评分，如果我们能够自己DIY一个无线远程的打分器，不仅可以享受电子制作的乐趣，还能够获得周围人赞许的目光，拥有一份成就感。为此我们制作了一套无线远程打分器。本作品基于无线传输数据技术设计，以STC89C52单片机为控制核心，以nRF905无线传输模块来实现数据的生成和无线发送、接收。本制作的控制核心选用了基础的51单片机，它成本低，易于使用和操作，完全适用于日常生活中。

系统设计

首先我们对本作品将选用的控制核心做了一个选择，之前没有接触过nRF905，认为它需要主频比较高的单片机才能驱动。所以，我们一开始打算用MSP430来做控制核心，而在对nRF905有了充分了解后，才知道这个模块对驱动的要求并不高，用51单片机就足够完成对它的控制。为了降低制作成本和设计复杂程度，决定采用51单片机。

现在无线通信有着很多先进技术，如蓝牙、Wi-Fi和ZigBee等，总体向高速和低功耗发展。我们之所以选择nRF905作为无线传输模块，一是因为nRF905使用类SPI数据接口，操作控制和数据传输清晰、简洁，操作起来比较方便，二是因为它价格低廉，比较适合在学生人群中使用。

nRF905无线模块在正常工作中是以高频交变电磁波来进行数据传输的。它使用类SPI数据接口，操作控制和数据传输清晰、简洁。独有的Shock Burst技术，把生成前导码、地址和数据长度检查、CRC的添加和校验等功能全部交由nRF905模块完成。当成功接收到数据时，会通过中断引脚输出电平，用户只需专注完成单片机与模块之间的数据写入和读取工作，让无线数据通信工作变得异常轻松与方便。

传统意义上的nRF905

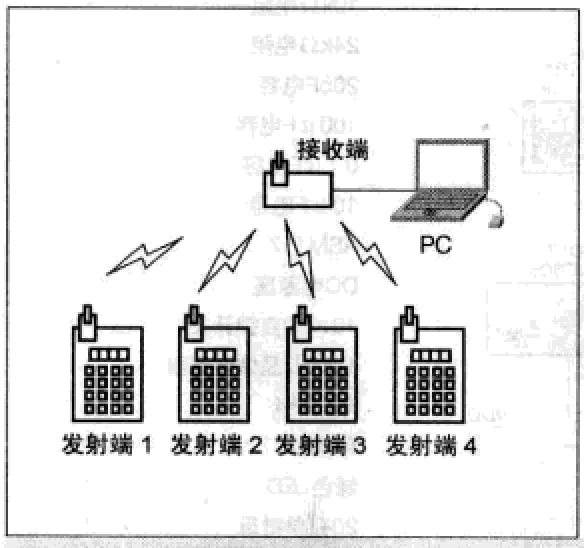


图1 无线打分器原理图

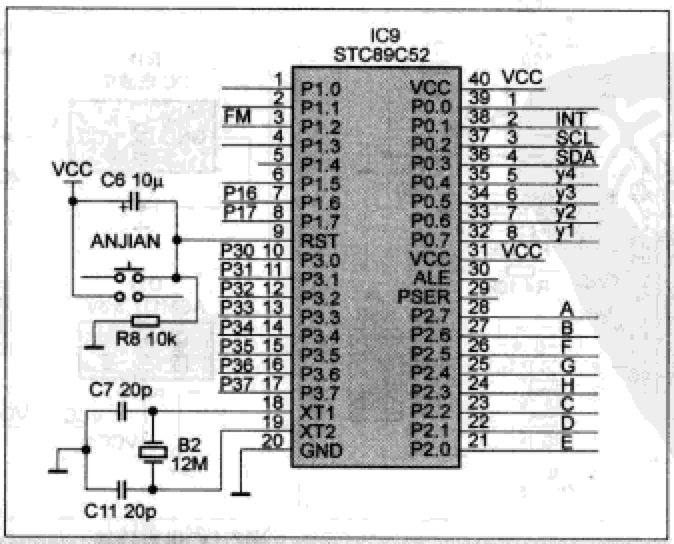


图2 STC89C52单片机最小系统

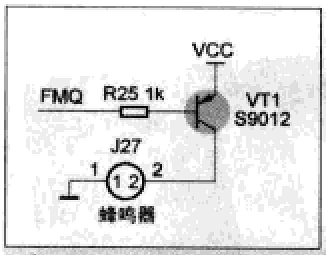


图3 蜂鸣器驱动电路

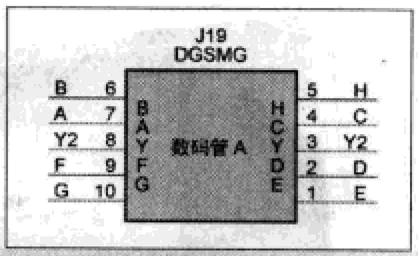


图4 8段共阳极数码管

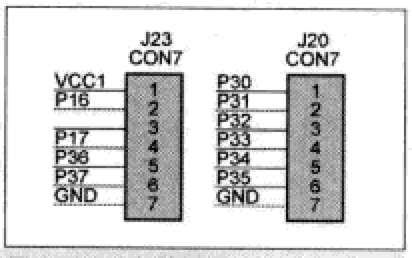


图5 nRF905接线插座

无线模块通信只能以点对点，或者一点对多点的方式完成无线通信，也就是一台nRF905发射模块只能对应一台或者多台nRF905模块完成信号的发送和接收，而多台nRF905发射模块向一台nRF905接收模块传递信息时，会发生信号丢失的情况。对于这种现象，我们以普通51单片机为控制核心板进行了测试。

首先将两个发送模块都启动并等待信号，进行一次数据的发送。结果接收端总是只能收到一个信号，并且多次实验，收到的都是同一个信号。把两个发送的单片机交换位置后，发现收到的还是同一个信号。于是我们猜想，在nRF905模块同时接收到两个数据时，会有一个数据丢失，并且这与发送模块的位置无关，可能跟nRF905模块发送的信号频率和模块晶体振荡器的振荡周期有关，由此造成其中一个始终捷足先登。之后，我们把两个nRF905模块从单片机上拆下来并交换，结果与上次不同，这次收到的是另一个信号。因此，猜想是成立的。为避免在打分过程中丢失信息，我们将一个数据按照不同的频率重复发送1000次，总发射时间小于1s，频率不同的话，就会使不同单片机信号发射产生间隔，这样“信号撞车”的概率就降低了。试验了100次，也没有丢失过信息。以这种方式完成多点对一点的信号通信，基本上是可行的。

为了区别和定位不同的发射端，我们给每个发射端都进行了编号，占用一个16进制数，这样便可以实现对256个发射端做出区别，在nRF905接收到数据时，可根据不同编号进行数据的有效管理，每个发射端都可以通过按键来发送一个百分制的数字，并通过蜂鸣器来判断发送的数据是否合法，然后通过nRF905实现单片机间无线的数据传输。接收端可以将接收到的各个百分制数据都保存起来，并通过PL2303 USB转串口转换头与计算机实现串口通信。

硬件设计

系统原理如图1所示，本制作分为发射端和接收端，发射端主要由以下几个模块组成：STC89C52单片机最小系统、蜂鸣器驱动电路、数码管显示模

元器件清单

发射端（单个）	
名称	数量
1kΩ电阻	12
3.3kΩ电阻	6
10kΩ电阻	5
47kΩ电阻	1
20pF电容	6
0.1μF电容	6
10μF电容	1
100μF电容	1
12MHz晶体振荡器	2
STC89C52单片机	1
ASM117	1
LM7805	1
DC电源座	1
10×自锁开关	1
B3F4050按键	16
20孔单排母	1
7孔单排母	2
8段共阳极数码管	4
S9012三极管	5
4148二极管	4
蜂鸣器	1
绿色LED	2
ZLG7290	1
nRF905	1
感光板	1
单排针8	3
单排针4	2
单排针3	2

接收端	
名称	数量
PL2303	1
6MHz晶体振荡器	1
6×6自锁开关	1
USB插头	1
1kΩ电阻	2
10kΩ电阻	1
24kΩ电阻	1
20pF电容	2
100μF电容	1
0.1μF电容	1
10μF电容	1
ASM117	1
DC电源座	1
10×10自锁开关	1
12MHz晶体振荡器	1
单排针4	1
单排针7	2
绿色LED	1
20孔单排母	1
STC89C52单片机	1

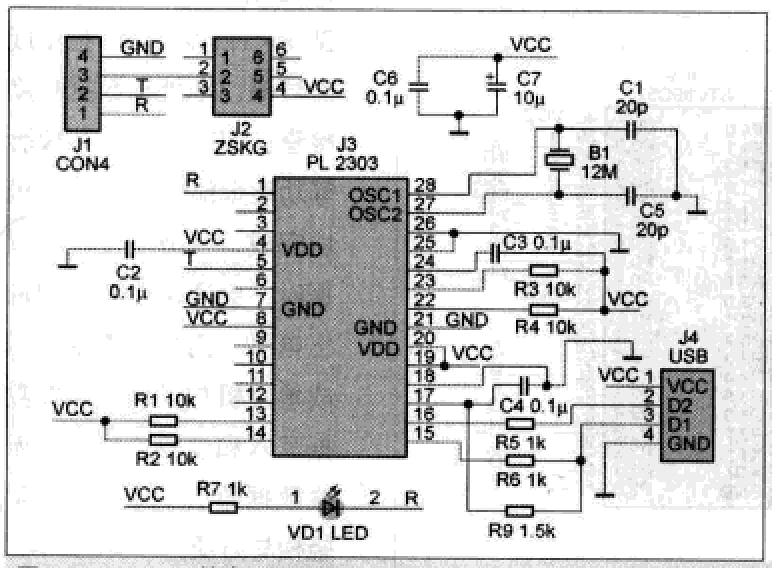


图6 PL2303 USB转串口下载模块

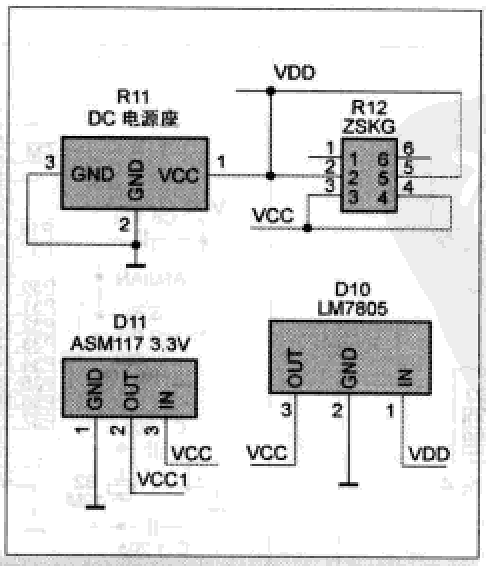


图7 DC供电模块

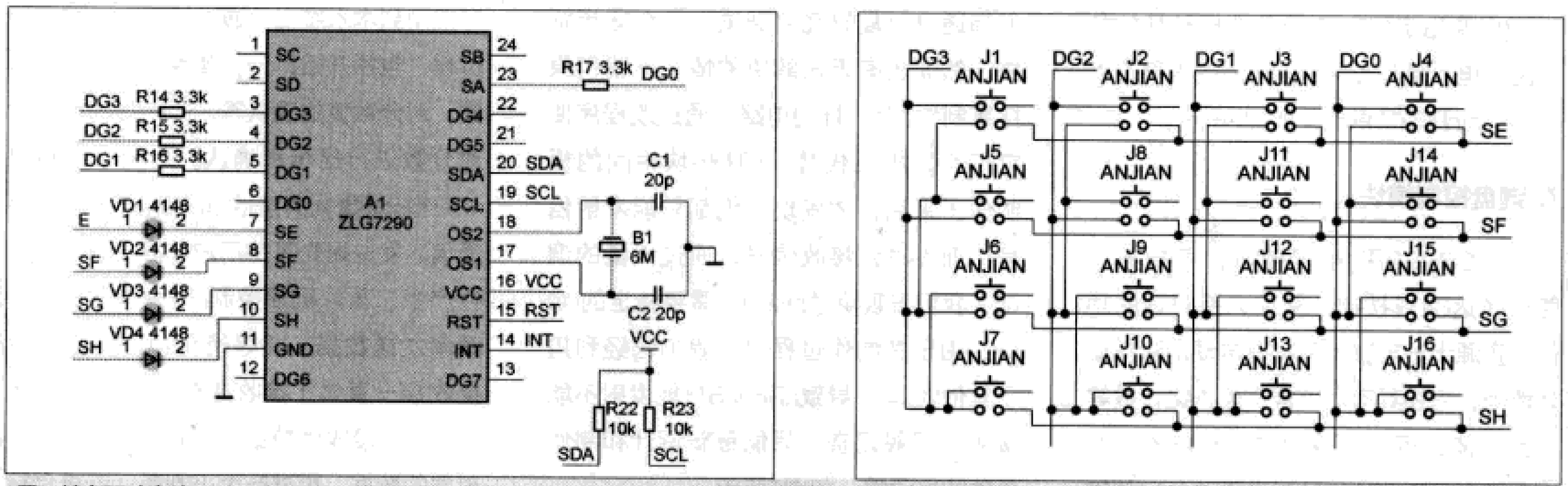


图8 键盘驱动电路

块、nRF905无线模块、PL2303 USB转串口下载模块、DC供电模块和键盘控制模块。

1. STC89C52单片机最小系统

本作品主要应用了51单片机的I/O控制和定时器功能。虽然51单片机是单片机家族中最基础、功能最少的一种，但由于本系统并不复杂，没有涉及高时序和高运算速度的要求，所以成为我们的首选。经试验证明，它确实没有辜负我们的期望。我们所用的STC89C52单片机最小系统如图2所示。

2. 蜂鸣器驱动电路

单片机的I/O口驱动能力不足以让蜂鸣器发出声音，因此需要通过三极管放大驱动电流，如图3所示。我们可以控制I/O口产生一定频率的PWM波来控制声音的频率。一般而言，频率高一点，听起来会比较悦耳，但是如果频率太高，反而会听不到。

3. 数码管显示模块

本作品用的是共阳极二极管，如图4所示，Y2为公共端，只要控制其他端口的电平就可以显示任意数字了。

4. nRF905无线模块

nRF905的工作电压为1.9~3.6V，要用稳压管做个相匹配的3.3V电源。我们用的是现成的nRF905模块，只需将SPI接口与单片机相连，即可用单片机完成对它的一切控制，其接线插座如图5所示。

5. PL2303 USB转串口下载模块

PL2303 是Prolific 公司生产的一种高度集成的RS232-USB 接口转换器，该器件内置USB功能控制器、USB 收发器、振荡器和带有全部调制解调器控制信号的UART，只需外接几只电阻、电容就可实现USB 信号与RS232 信号的转换，如图6所示。

6. DC供电模块

该系统需要3.3V和5V供电，而变压器输出的是9V的直流电，这里用LM7805

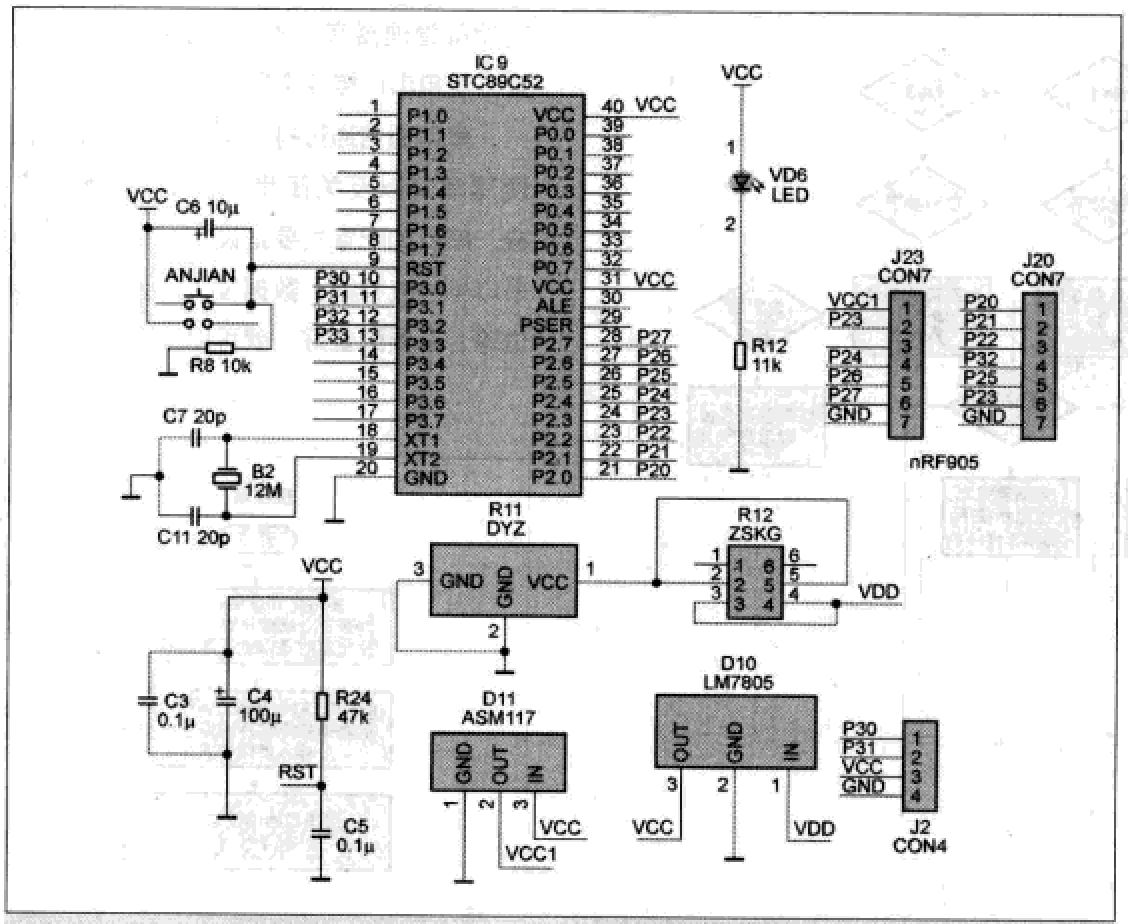


图9 接收端

将9V电源稳定到5V，为单片机和其他各电路供电，用ASM117将5V的电压稳定到3.3V，为nRF905供电，如图7所示。

7. 键盘控制模块

ZLG7290采用I²C接口，可扫描、管理多达64只按键，实现人机对话的功能，资源十分丰富。除具有自动消除抖动功能外，它还具有功能键、连击键计数等强大功能，可扩展驱动电压和电流。在本系统中，ZLG7290只用来驱动4×4的键盘，如图8所示，感觉有点浪费。

8. 接收端

在制作和调试过程中，我们遇到过很多大大小小的问题，大多数问题我们都通过反复研究和调试一个个逐步解决，然而也有无法解决的情况。我们原打算制作5个一样的电路，通过改程序使它们可以相互代替，但把5块相同的板制作出来后，才发现它们都只能发射信号，而没办法接收信号。通过大量的调试，我们发现驱动nRF905需要特定的I/O口，由于在制作过程中，我们已经利用了其他I/O口，导致nRF905只能发射不能接收。万般无奈，只能重新设计和制作单独的接收端，如图9所示。

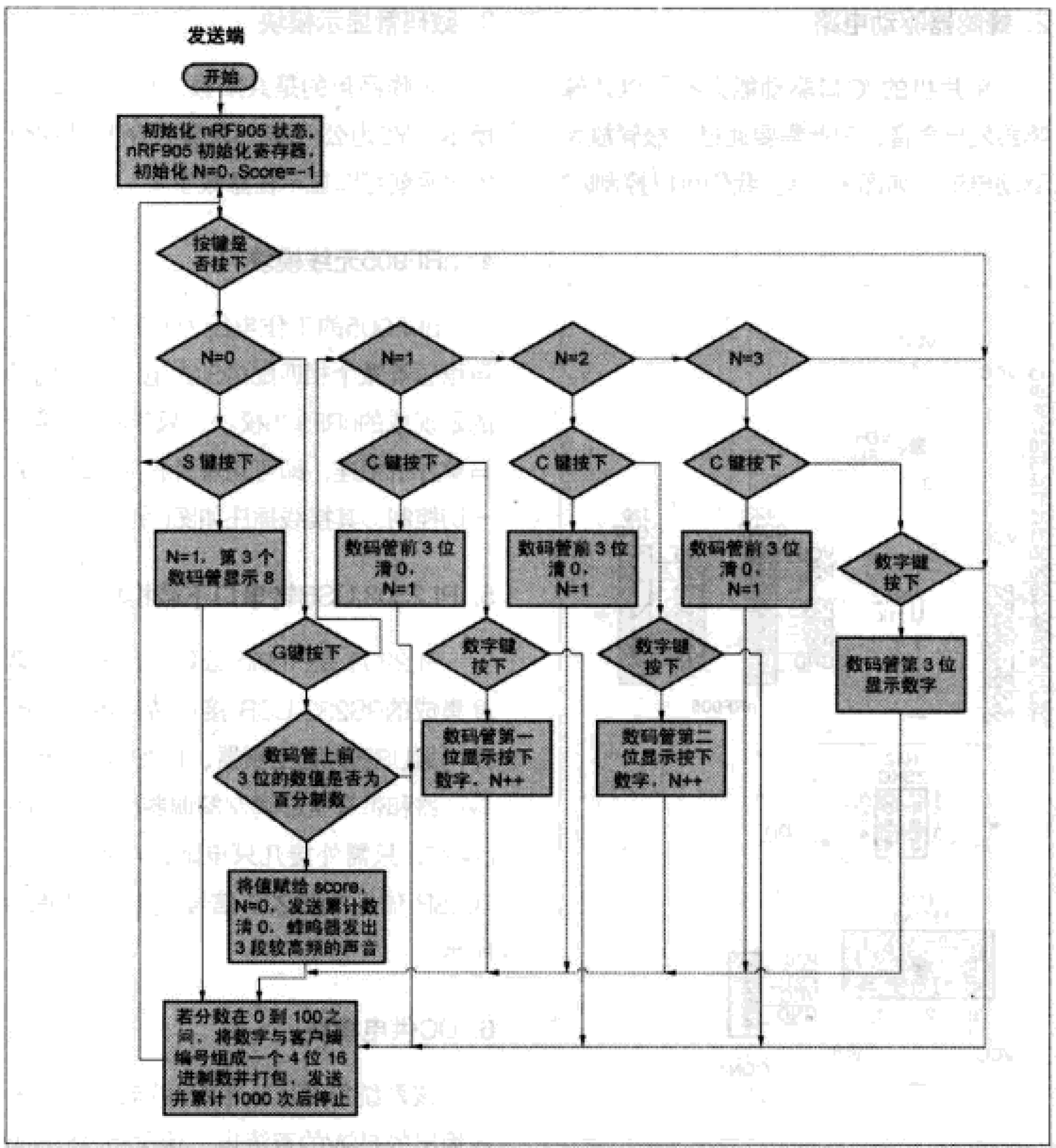
软件设计

本系统发射端使用ZLG7290来实现键盘的驱动，使用nRF905来实现无线传输，驱动程序可由网上下载，稍加修改就可应用到本系统上。通过按键来实现打分过程，包括开始打分、清除分数、发送分数、对分数值的确认等。同时可用数码管对分数进行显示和确认。而接收端利用nRF905对数据的接收和中断来实现串口通信。发送端先等待用户按键，当按键事件产生，单片机便控制nRF905以一定的频率发送数据，并等待用户输入指令。接收端一直处于接收状态和与PC通信状态，一旦接收到数据，就判断是第几个发射端的数据，再进行大小判断，若符合标准，则覆盖原数据，然后将数据传输给PC。具体软件流程图如图10所示。

接下来需要编写上位机软件了。作者作为非计算机专业的大二学生，没有系统的C++相关知识，缺少编写计算机软件的经验，力所能及的就是去图书馆和网上找点教程现学现用了。

之前我们自学过VC，所以本程序是用VC上的MFC完成的，其主要部分是MSComm串口控件的应用。在PC主板上，有一种类型的接口可能常被人们忽视，那就是RS-232C串口，在微软的Windows系统中称其为COM。我们可以通过设备管理器来查看COM的硬件参数设置，使用串口控件实现串口通信。

串口通信通过打开串口、配置串口、读写串口以及关闭串口这4个步骤来完成。串口的配置主要是设定一些参数，如串口号、波特率、数据位、停止位和奇偶位等。只要配置好，就可以进行接下来的



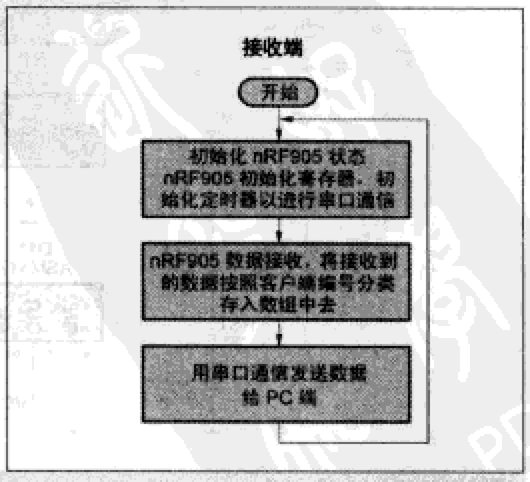


图10 无线打分器软件流程图

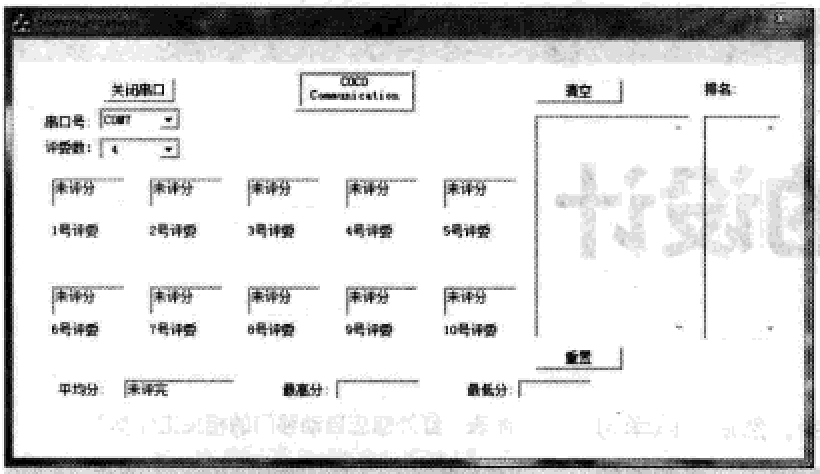


图11 上位机软件界面

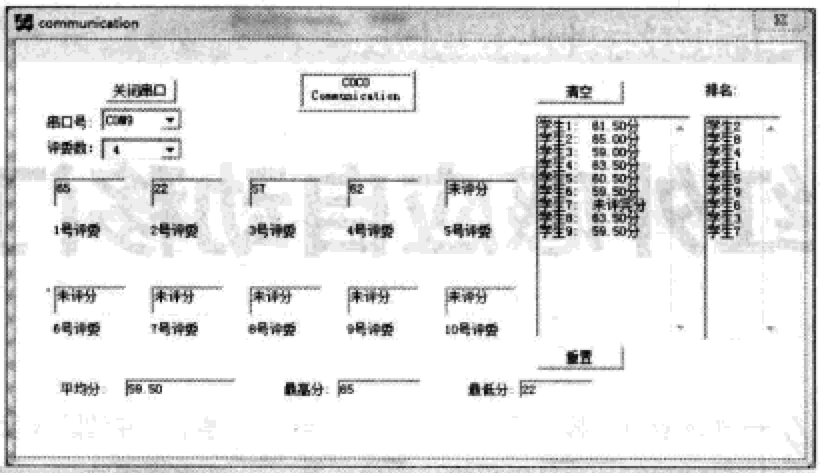


图12 一次打分结果

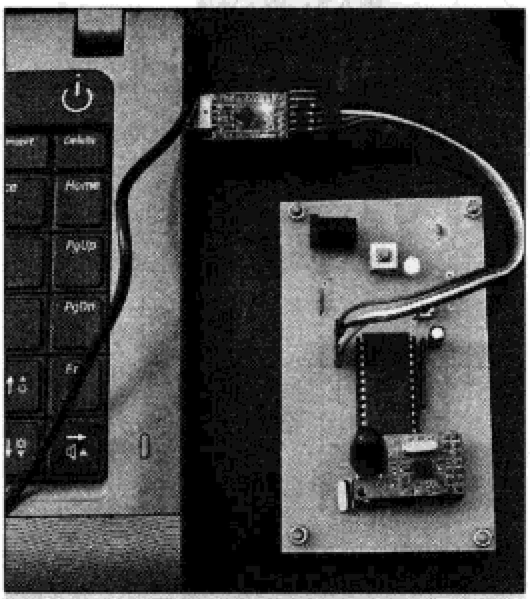


图13 接收端实物图

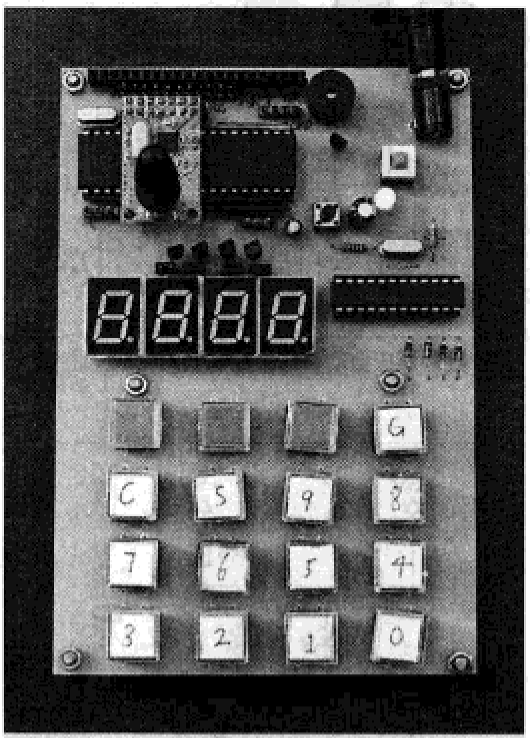


图14 发射端实物图

读写了，在每次接收到数据时都会触发串口事件，这时只需将串口缓冲区的值一个个存入数组就行了。

然后就是界面的设计，我们以简洁朴素的原则设计了界面，如图11所示。

运行的流程分为几个步骤：（1）将接收端通过PL2303连到电脑上，并通过计算机设备管理器查看端口号。（2）打开程序，修改串口号为上一步中查看到的端口号，关闭串口并重新打开。（3）将评委数改为发射端的个数。运行以上步骤后，就可以用单片机进行打分了。当所有的发射端都打分后，可统计出最高分和最低分，并计算出去掉最高和最低分后的平均分。按清空键，可以将数据记录下来，并获得该次打分的名次，然后开始下一次打分。（4）按重置键，可以把记录数据都清空。运行结果如图12所示。

制作、调试与使用

电路板是我们自己制作的，其制作过程可分为以下步骤：绘制电路原理图并生成网络表，建立与绘制PCB文件，打印PCB文件，通过感光板生成所要的电路板，腐蚀、钻孔后即可焊接，焊接完成后对系统进行测试、纠错和改良。制作完成的实物如图13、图14所示。

所有发射端可通过9V直流电源供电，而接收端可通过USB供电。各个发射端的操作方法一致，不同的就是，它们有着不同的编号。操作方法如下：（1）按S键开始，此时数码管会显示提示。（2）可任意输入一个百分制数字，在此期间，可按C键把数据全部清除。（3）当输入完后，按G键可发送数据，若数码管全灭，则发射成功，然后可重复上述步骤，发送下一个数据。若数码管全显示8，说明数据出错，此时只能通过C键来重新输入。在发送成功后，可听到蜂鸣器发出较清脆的几个声音，而发送错误，则会发出一段较刺耳的声音。发射成功后，即可在计算机上看到收到的数据。

nRF905的最大通信距离约200m，作品设计最大通信距离50m，一般情况下足够使用。我们在通信调试过程中，遇到干扰造成传输数据异常的情况，但其发生概率很小，可通过修改软件将干扰数据（即不在0~100之间的整数）屏蔽。

我们以4台发射端与1台接收端成功完成无线远距离打分信号的通信，实时通过投影机在大屏幕显示打分结果，引来许多同学的注意。有人问，为什么不多设置一些发送端？这主要是受课外科技制作经费的限制。不过在上位机的显示窗口，我们预留了10个发射端的显示框，读者可以拓展为10个或更多的发射端，只需要根据程序做相应的修改就可以实现。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

红外感应自动移门的设计

红外感应自动移门无需人工干预，全自动运行，运转时平稳、安静。其高可靠性使得它适用于许多场合，是方便和舒适的理想产品。

红外感应自动移门由以下7部分构成。

1. **主控制器**：它是自动感应门的指挥中心，通过内部编有指令程序的单片机，发出相应指令，指挥电机或电锁类系统工作。人们还可以调整自动感应门门扇的开启速度、开启幅度等参数。

2. **感应探测器**：可以采用红外、激光或超声波等探测器。目前主要采用红外探测器，负责采集外部信号，如同人们的眼睛。当有移动物体进入它的工作范围时，它就给主控制器一个启动信号。

3. **动力电机**：提供开门与关门的主动力，控制自动感应门门扇加速或减速运行。

4. **门扇吊具走轮系统**：用于吊挂活动门扇，同时，在动力牵引下带动门扇运行。

5. **门扇行进轨道**：就像火车的铁轨，约束门扇的吊具走轮系统，使门扇按特定方向行进。

6. **同步皮带（或三角皮带）**：这是用于传输电机所产生的动力，牵引门扇吊具走轮系统。目前大部分产品使用同步皮带。

7. **下部导向系统**：这是门扇下部的导向与定位装置，防止门扇在运行时前后摆动。

工作过程

上电后，红外感应自动移门先进行初始化工作：以学习速度缓慢开门，撞墙后停下，并清除长度计数器。然后，以学习速度缓慢关门，门关拢后停下，将测得的正确行程（开门或关门长度）存入单片机的EEPROM，从而进入待机状态。

在待机状态下，如果红外感应探测器探测到有人进入，便输出一个启动信号给主控制器。主控器得到此信号后，控制电机运行，同时监控电机转数（开门长度），以便控制电机在什么时候加速、什么时候匀速、什么时候减速运行。电机得到一定运行电流后，正向运行，将动力传给同步带，再由同步带将动力传给吊具系统，使门扇开启，完成一次开门过程。

自动感应门扇开启后，由控制器作出判断，如较长时间没有探测到人员进出，则通知电机反向运动，关闭门扇。

一次开门与关门过程中，电机的转速变化分析如图1所示。

在待机状态时，操作员可以输入红外感应自动移门的相关工作参数，见附表。

系统方案设计

红外感应自动移门的主控制器由单片机控制器、数码管显示器、直流电机推动-驱动电路、速度信号反馈电路、继电器控制电路、按键输入电路、用户状态设置电路、红外线感应探测器及电源等组成，如图2所示。

为了控制开门长度，我们需要监控电机转数，因此需要取得电机的旋转脉冲。常用的元器件为光栅式编码器，为了降低成本，我们使用遮断式光电开关（见图3）和自制的光栅盘构成转速信号反馈组件，如图4所示，光栅盘上的透光孔依需要可打8~24个。

附表　红外感应自动移门的相关工作参数

设定状态 set_status	作用	设定范围	默认值
0	正常工作	—	—
1	输入门靠墙停顿时间	0~9	3
2	输入开门最大速度	0~9	4
3	输入开门最小速度	0~9	4
4	输入开门挤人灵敏度	—	—
5	输入关门最大速度	0~9	4
6	输入关门最小速度	0~9	4
7	输入关门挤人灵敏度	—	—
8	输入学习速度	0~9	4

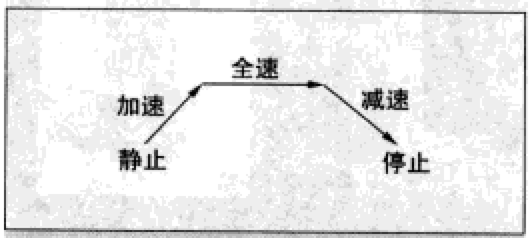


图1　一次开门或关门过程中，电机的转速变化

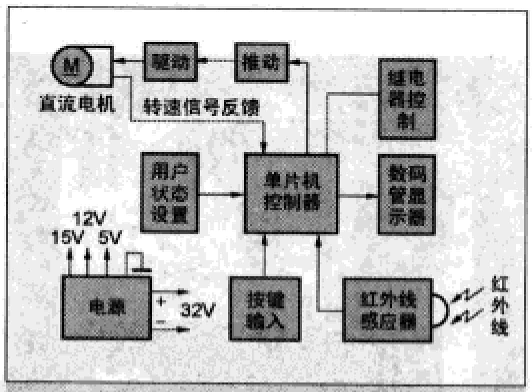


图2 红外感应自动移门主控制器的构成

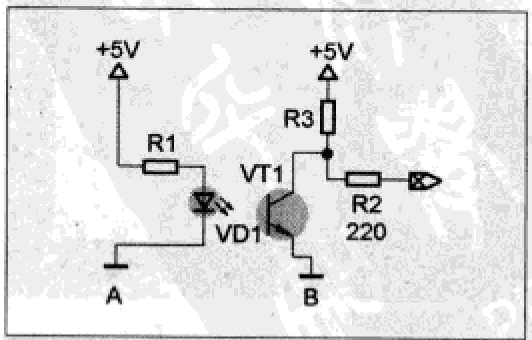


图3 遮断式光电开关的电路图

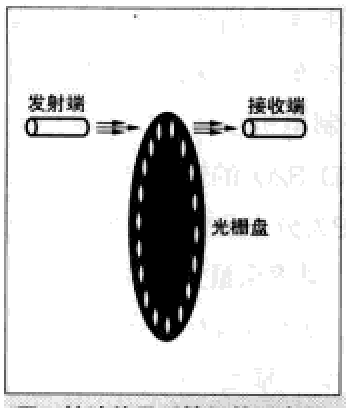


图4 转速信号反馈组件示意图

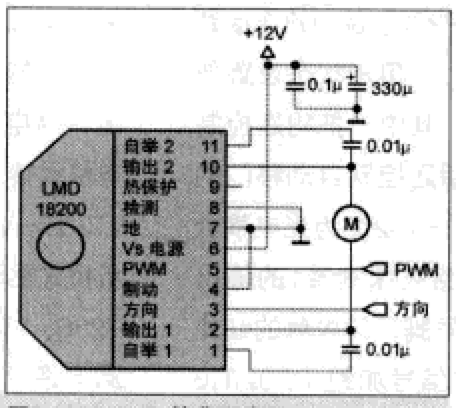


图5 LMD18200的典型应用

在不明显降低使用寿命的前提下，为了降低成本，可以选用优质的24V有刷电机。这样，电机的控制芯片就可使用目前很流行的LMD18200。LMD18200是美国国家半导体公司的单通道直流电机驱动芯片，在12~60V电压下，可输出高达3A的电流，可以驱动一个较大功率的直流电机或步进电机。它内部集成有续流二极管，并有一个电流检测反馈输出，过热时能自动关断。它具有一个方向引脚和一个PWM信号输入引脚，制动引脚输入支持再生制动。只要PWM信号的频率低于1kHz，芯片内部的电容就足以让电荷泵为H桥集成功放电路上的MOS场效应管提供较高的电压。当PWM信号频率高于1kHz时，引脚1和引脚2之间、引脚10和引脚11之间，需要各加一个0.01 μF的电容。LMD18200的典型应用方式如图5所示。

电路设计

由于红外感应自动移门的主控制器电路比较复杂，我们采取了层次化设计，共分为cpu&relay、sen&in、power等3个子电路（层次），子电路之间的连接方法如图6所示。

» cpu&relay子电路

cpu&relay子电路如图7所示。单片

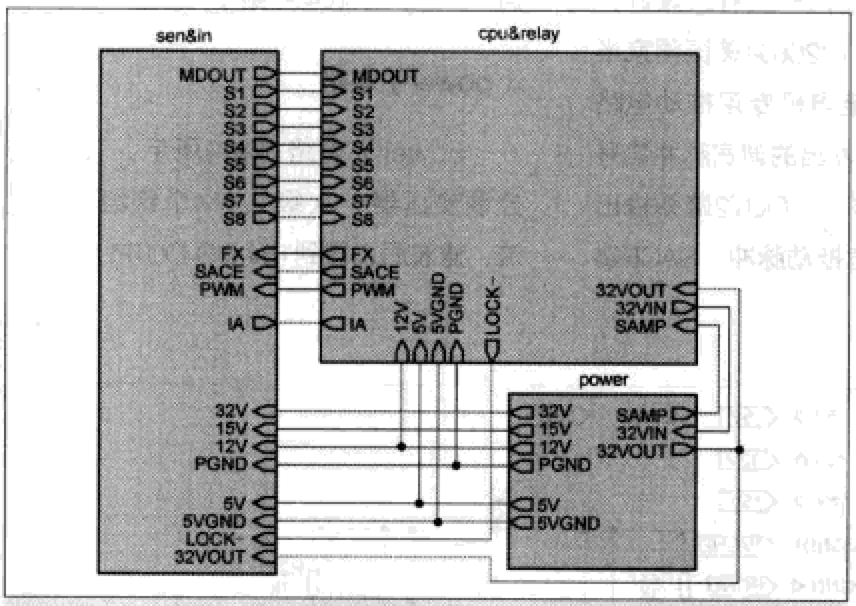


图6 子电路的连接

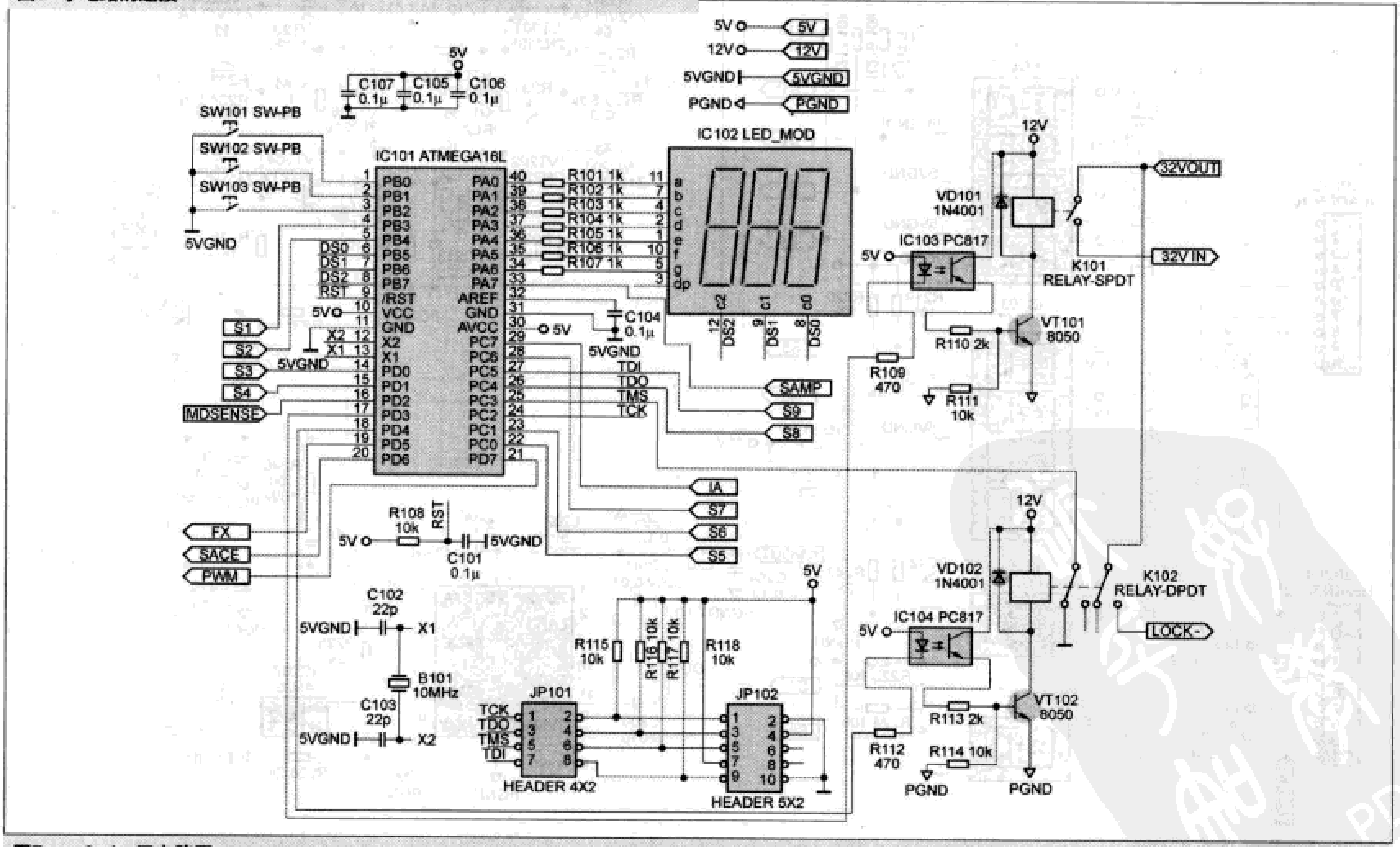


图7 cpu&relay子电路图

机控制器IC101是整个系统的核心，负责整个红外感应自动移门的运行，这里使用功能强大、高性价比的ATmega16(L)，有效利用了它的片上资源。IC102为3位的数码管显示器，用来显示按键输入。SW101~SW103为按键输入电路。JP102为调试使用的JTAG仿真口。JP101为短路所用的双排针，用于选择是否启用JTAG仿真。继电器K101、K102用于通/断驱动电机的32V电压及锁停门扇。

» sen&in子电路

sen&in子电路如图8所示。IC201为高速光电耦合器，它将直流电机旋转编码器输出的15V脉冲信号转换为5V脉冲，送入单片机处理。JP202、JP203连接到用户状态设置面板上。用户状态设置面板由两把钥匙控制，其中一把钥匙控制锁停门扇，另一把钥匙控制自动移门的8种工作状态。IC202～IC205为光电耦合器。门外侧的红外感应探测器1的输出信号加到JP203的1号脚，门内侧的红外感应探测器2的输出信号加到JP202的6号脚。红外感应探测器的作用是探测是否有人靠近自动移门，一旦有人靠近，会输出一个低电平。IC206为美国国家半导体公司生产的直流电机专用推动电路LMD18200，单片机发出的调宽脉冲信号经PWM端输入，OUT1、OUT2端即输出对应的直流电机调宽推动脉冲。SACE端为刹车信号控制端，加高电平后实现直流电机的紧急刹车。FA端为正反转控制端，高电平控制电机正转，低电平控制电机反转。LMD18200的输出端扩展了以VT205～VT208为分立元件构成的直流电机桥式驱动器，功率余量大，性能稳定。R236、VT208、VT209等构成电机堵转检测电路，当检测门扇全开或全关时（这时电机产生堵转），光电耦合器IC208导通，产生一个低电平给单片机。

» power子电路

power子电路如图9所示。T301为控制变压器，次级共有4个绕组，经整流、滤波后，得到15V DC OUTPUT、12V

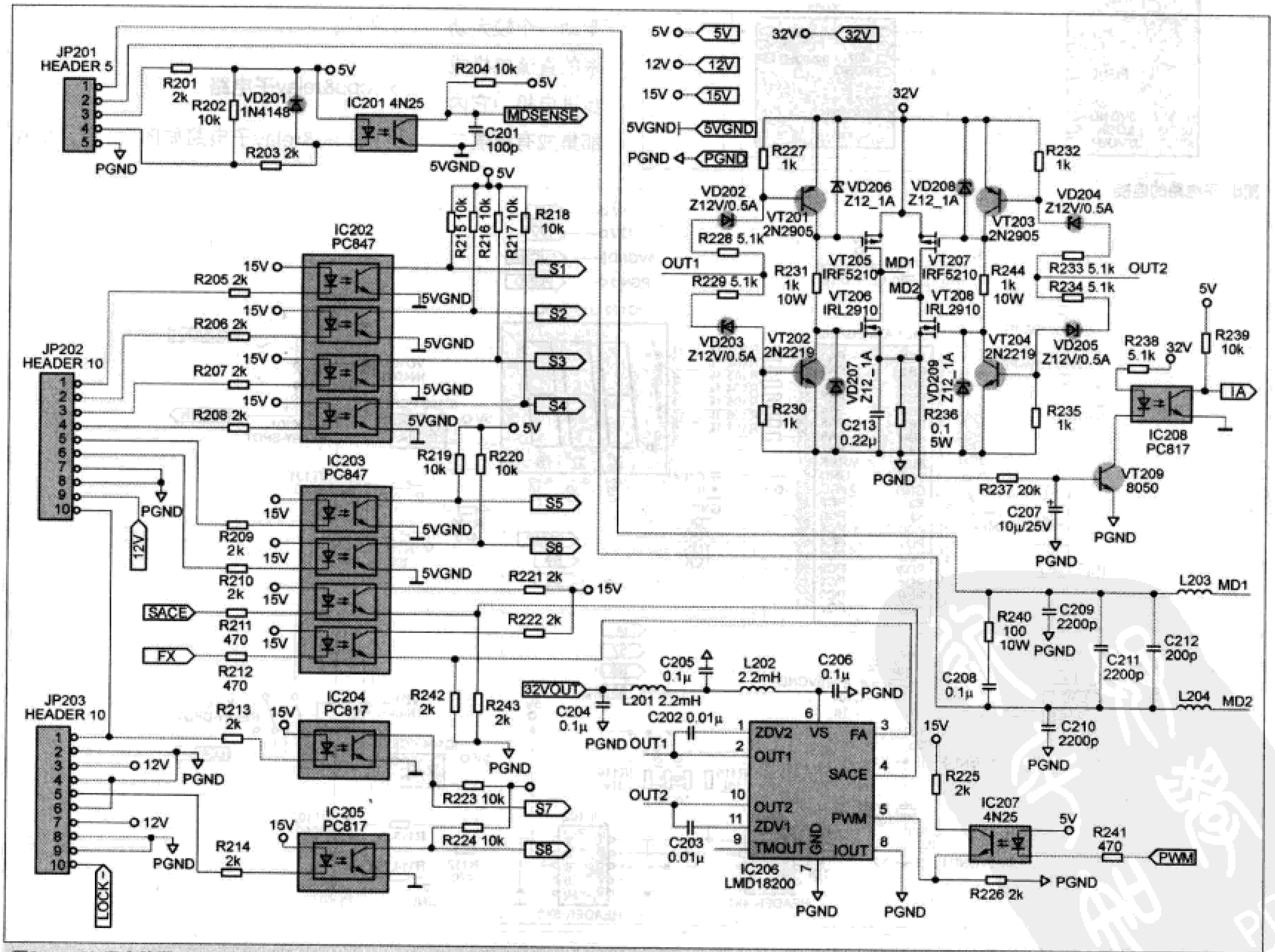


图8 sen&in子电路图

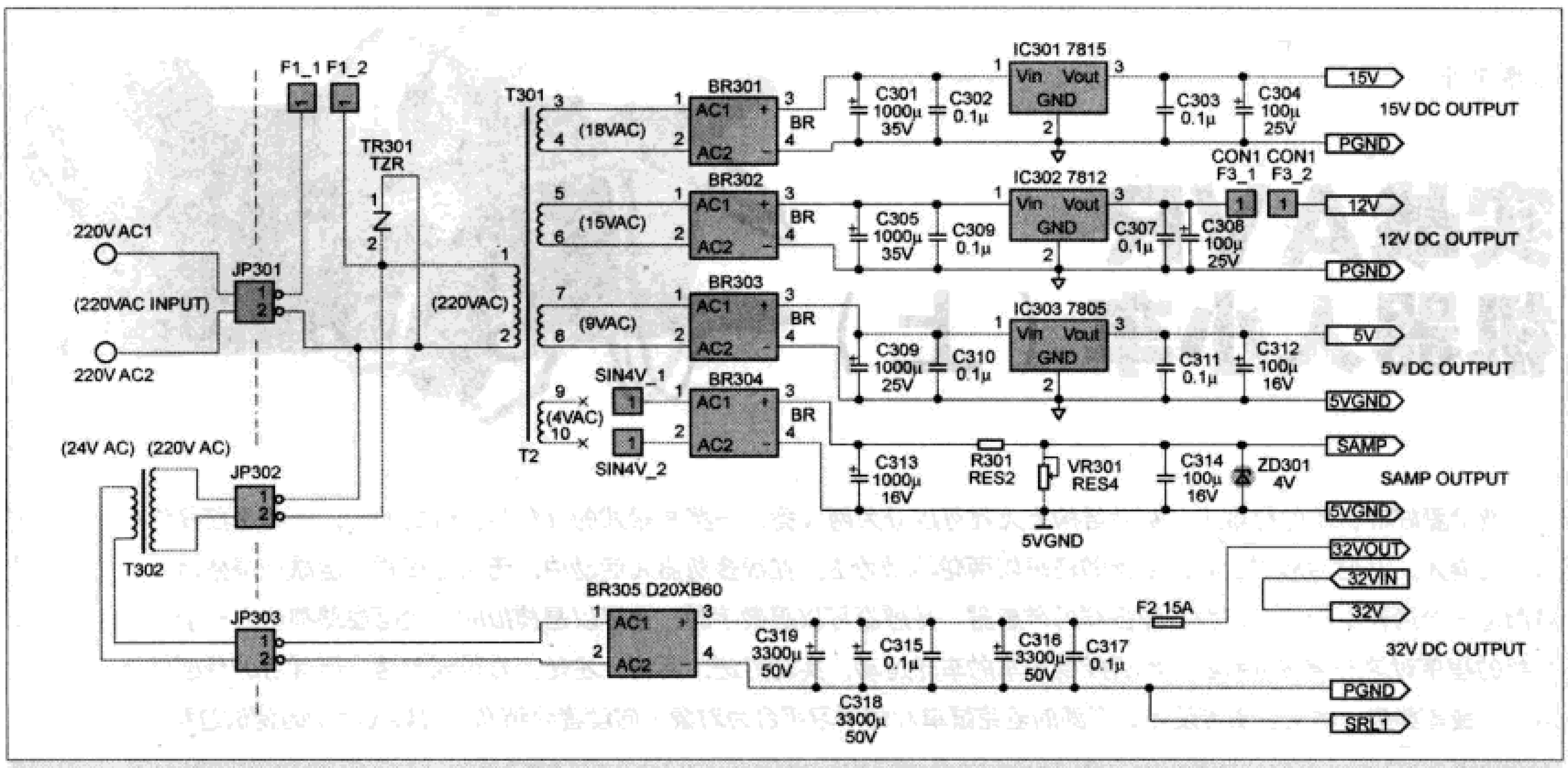


图9 power子电路图

DC OUTPUT、5V DC OUTPUT、SAMP OUTPUT等4组直流电压，供应红外感应自动移门的主控制器电路工作。其中SAMP OUTPUT目前未使用，留待将来系统升级时使用。T302为主变压器，其次级24V AC经整流、滤波后，得到32V DC供应直流电机工作。

设计完成的红外感应自动移门控制器PCB如图10所示。

程序设计

控制程序采用C语言设计，使用ICC7.14C编译器编译，比较简洁易懂。限于篇幅，这里就不做具体分析了，读者朋友可到《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn下载。

保养及维护

红外感应自动移门由于受安装质量及使用环境的影响，使用过程中难免会发生问题。如果长期缺乏保养，导致自动门存在的隐患及小故障得不到及时处理，将会由小故障变成大故障，最终可能导致自动门的瘫痪，因此用户平时需要定期进行以下项目的保养工作。

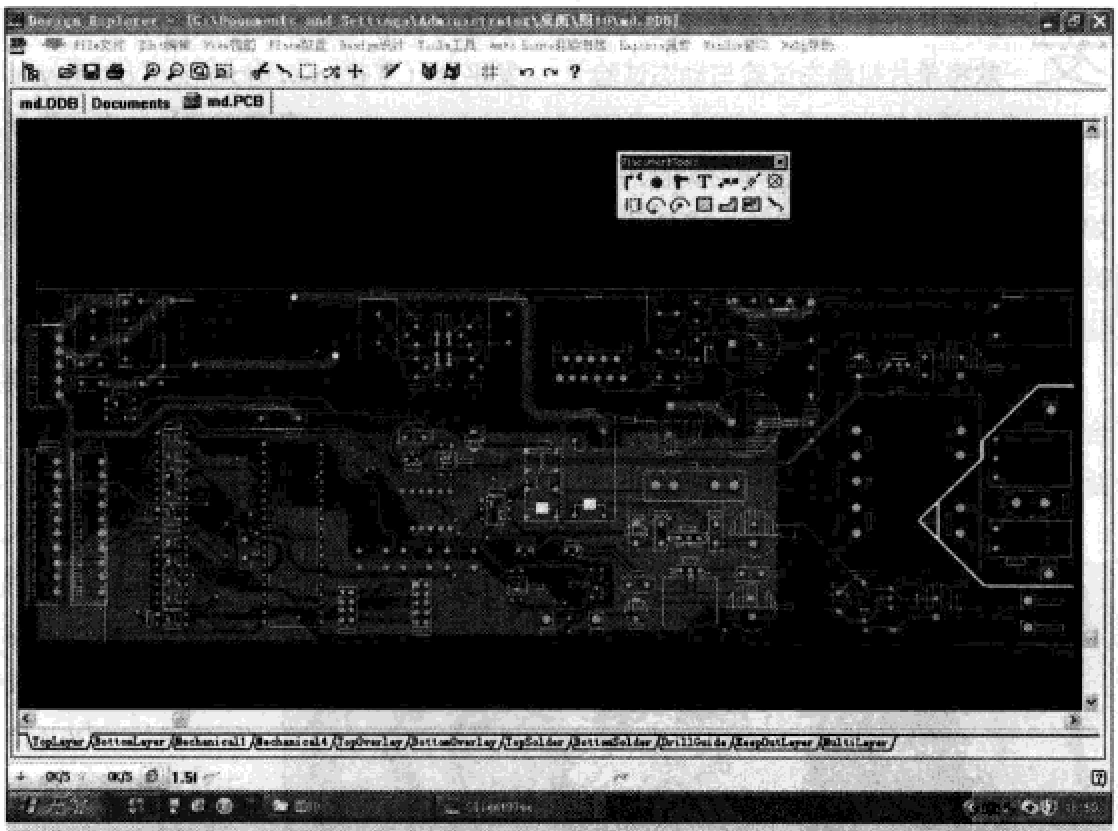


图10 红外感应自动移门控制器PCB

1. 清洁机箱内部的油污、灰尘。

2. 检查自动门各种部件的磨损情况，检查自动门的支位偏差及螺丝松紧情况。

3. 检查皮带的松紧情况。

4. 检查控制器对电机输出、开关门宽度、速度、制动等状态是否正常。

5. 检查电压参数是否正常。

6. 维修、更换损坏的部件。

◇席卫平

实战AVR机器人小车（上）

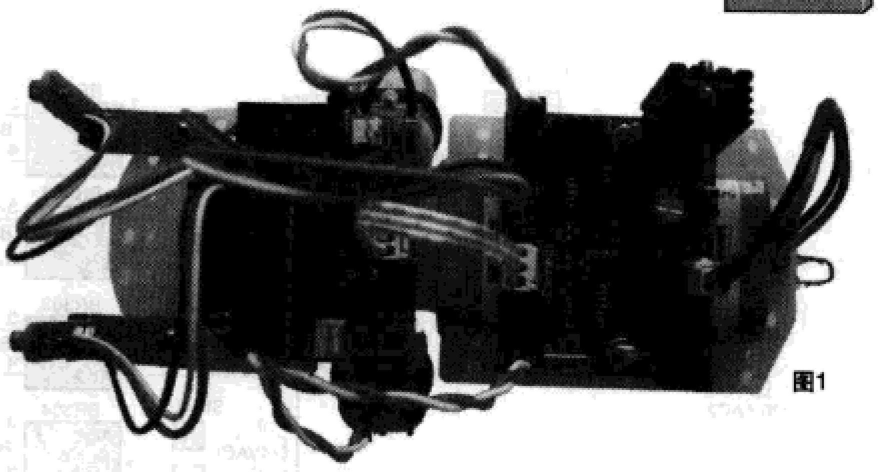


图1

业余爱好者制作的机器人从驱动结构上大致可以分为两大类，一类是轮式的（包括履带式的），一类是杠杆结构的步行或爬行机器人。从驱动形式上看，主流的还是以两轮驱动为主。在很多机器人活动中，无论是搜救、足球还是搬运机器人，其主体都是一个两轮驱动小车搭载各种各样的传感器。传感器可以是数字的，也可以是模拟的，数据最终都送入一个单片机，由单片机的程序对这些值做出判断，然后控制小车的车轮运动，实现前进、后退、左转、右转或加速。而常用的传感器有红外、超声、光敏等类型。本文以笔者设计的开源的麦克鼠单片机学习平台为对象，向读者介绍几种机器人活动的调试过程。

麦克鼠单片机学习平台是笔者开发的一款将单片机静态试验与动态试验集于一身的单片机学习平台。该平台既可以完成绝大部分单片机桌面学习实验，比如流水灯、数码管、LCD和多种通信协议等，也可以搭建循线、避障、追光、红外测距以及无线遥控等机器人。

其独特的直流电机直接驱动模式配合PWM调速技术，使它可以完成复杂的曲线运动。由于免去了齿轮变速电机，其整体价格有所下降。结合ROBOT C开发平台（可在www.radio.com.cn和www.machmouse.com免费下载），大大降低机器人学习的入门门槛，非常适合业余单片机爱好者、中小学生开展单片机学习和机器人科普活动。

由麦克鼠单片机学习平台构成的追光机器人小车如图1所示。整个平台的主要部件如图2所示，下面一一予以介绍。

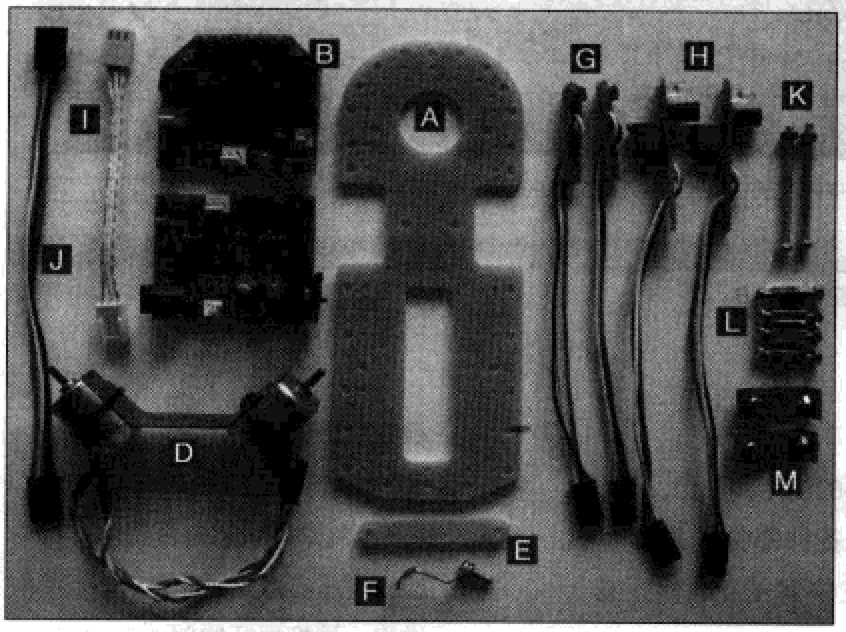


图2 整个平台的主要部件

A 车体：车体将其他部件组合在一起，构成了机器人小车。车体周围有很多固定孔可以安装传感器，也可以固定装饰物以及用于足球机器人或相扑机器人的辅助工具。车体中部用于固定电路板和电池的安装孔的孔距均为元件引脚间距（2.54mm）的整倍数，这样便于使用者用多孔实验板加装自己的电路。

B 单片机主控板（A板）：如图3所示。a为28脚双列直插插座，可以换插ATmega 48全系列的芯片，即ATmega 48、88、168和328以及早期的ATmega 8芯片。使用者可以根据程序代码的大小，方便地换用芯片。b为端口C 的6个引脚。因为端口C除了普通数字端口的功能外，还有ADC功能，所以特别设计了适合接插传感器的插座，即每组3个引脚，分别是G电源地、V电源正、S信号输入（由上至下）。这样的安排不但适合传感器，也适合接插伺服电机（小功率）。c为端口D的8个引脚。d为端口B 的8个引脚。e为ISP下载口，标准的10pin插座，可接插最常用的ISP下载线，方便程序下载。f为电源插座。静态试验时，可接插电池盒、外接电源等。动态实验时，通过连接线由B板供电，该插座不用。g为电源开关，此开关为一复合功能开关，一端为USB，一端为Battery。根据所接电源的不同，其开关方向也不同。如果你的ISP下载线可提供电源（静态桌面小功耗实验），将它拨到USB端，则用USB接口供电，将它拨到

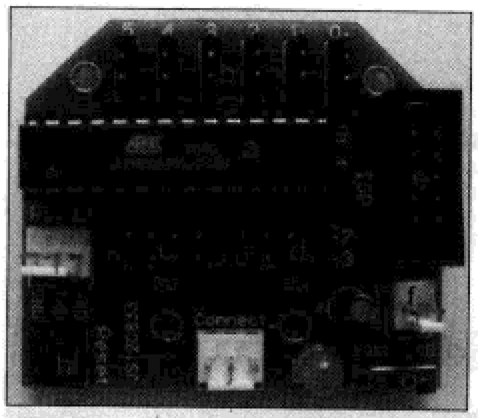


图3 A板

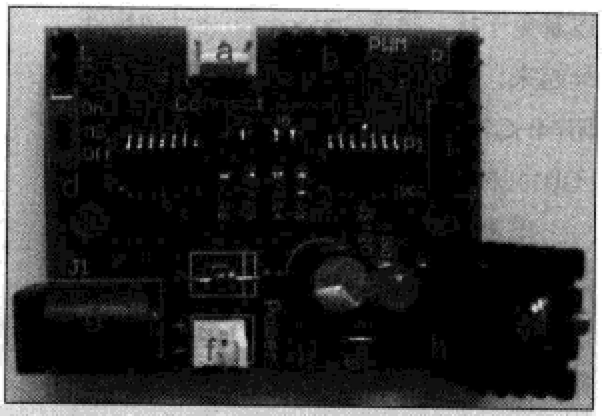


图4 B板

Battery端，就是用电池或外接电源供电。h为平台总复位键，如果是动态实验，按下此键，电机也会停转。i为RS-232串口插座，该插座将单片机内置RS-232通信协议的两个引脚引出，方便接插RS-232电缆，完成与上位机（PC）的连接，实现人机友好交互界面，对练习高级语言特别有用。j为连接线插座，连接线接B 板，3根线分别是电源正、电源地和复位控制。

C B板：该板主要承载电机驱动和电源供给电路，如图4所示。a为连接线插座，B板通过连接线向A板供电，同时A板的复位信号可控制B板的工作状态。b为电机控制线排，4个针从左至右分别为：LD左电机方向控制、LP左电机PWM信号、RP右电机PWM信号、RD右电机方向控制。这里的方向是指电机的旋转方向，而电机的速度控制由PWM信号负责。c为左、右电机引线插座。d为电机电源开关，设置此开关是为了避免在动态实验的程序下载过程中电机误动作，或者由于电机的启动电流较高，导致电压波动而使下载失败。e为总电源开关。f为总电源插座。g为外接电源插座。如果使用了可充电电池，当将总电源开关e拨到“off”位置时，接充电器可为电池充电。h为跳线插座，如果使用干电池供电，电压接近5V，可以不用稳压器，此时插上跳线帽，将稳压芯片7805短路，如果使用锂电池，因电压接近9V，应使用稳压器，将工作电压维持在5V。i为外接线排，双列插针分别是VCC和GND，可为外部实验模块提供电源。

D 驱动电机：主板两侧倾斜安装两台130直流电机，仅凭电机轴即可在桌面或平滑地板上获得满意的运行效果。使用者可以自行尝试安装小滚动轮或缠绕胶带，以获得更大摩擦力，配合PWM参数的调整，提高整机性能。

E 电池固定垫片：与B板和电池固定螺丝一起将电池压紧，起固定作用。

F 尾橇：固定在车体尾部，与两只电机构成稳定的三角形支撑。尾橇有很大的灵活性，使用者可自行改装，比如改装带空洞的小轮子。

G 光敏传感器：可做追光小车。

H 红外传感器：根据程序设计，可输入数字量，也可输入模拟量。做循线机器人时，使用数字量，做避障（绕桩）机器人时，使用模拟量。

I 连接线：连接A板与B板，3根线分别是电源正、电源地、系统复位信号。

J 电机控制线：4根线分别是LD左电机方向控制、LP左电机PWM信号、RP右电机PWM信号、RD右电机方向控制。

K 电池固定螺丝：与电池固定垫片一起将B板和电池固定在车体上。

L 固定螺栓：用于固定A板和电机。

M 传感器支架：用于固定传感器。

该平台作为机器人小车时，可搭载4节5号（AA）或7号（AAA）电池。此外，该平台还有很多人性化设计。例如，主板前部是弧形排列的9个安装孔，方便向不同方向固定传感器。主板中部用于固定电机架的两个桩柱，其间距为600mil，正好是7个2.54mm的距离，这就大大方便了固定一般的万用实验板。假如你想加一块扩展板以增加功能，只要选择合适的两个焊孔（间隔6）稍微扩一下即可，不必用电钻。

电路说明

麦克鼠单片机学习平台的电路部分包含A板和B板两块电路板。A板就是一个AVR单片机的最小系统，在我2012年1月发表的《玩转16×16LED点阵屏》一文中做过介绍，现在做了进一步的精简，如图5所示。围绕AVR单片机芯片，其B、C、D三个端口全部引出。C端口做了特别处

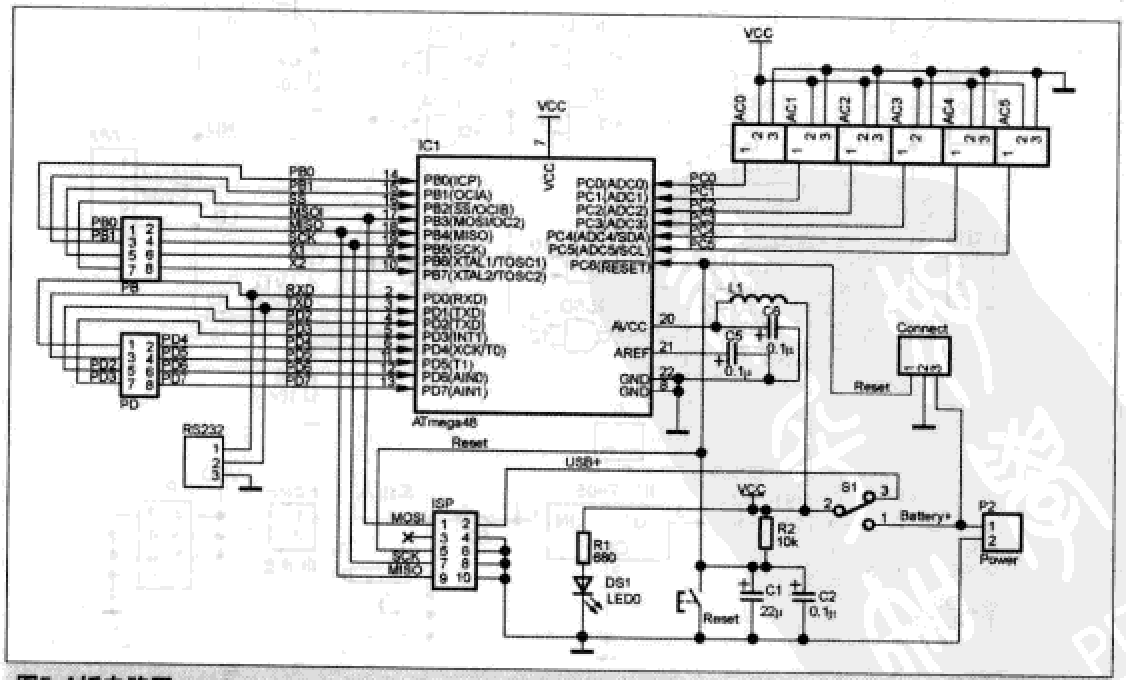


图5 A板电路图

理，6只引脚分成6组，每组除了信号端外，还有电源正和电源地，这样便于接入传感器和小功率伺服电机。用于ISP下载和RS-232串口的引脚也被分别引出。电感L1和电容C5、C6构成ADC基准电源的滤波电路。单刀双掷开关S1具有独特的功用，当其拨到Battery一端时，就接通电池供电，同时断开从USB的供电；反之，接通USB供电，断开电池供电。连接插座Connect将A板与B板连接起来。引脚1将A板的系统复位信号传给B板，引脚3接受来自B板的供电，引脚2为公共地。电路中的其他元件用来复位和电源滤波，读者不难读懂。

B板主要有两大功能，电机驱动和电源供给，电路如图6所示。电机驱动部分由两组相同电路构成，分别控制两只LG9110芯片驱动左右两个电机。插座PWM接入A板送来的控制信号，分别是方向控制信号LD和RD、PWM信号LPWM和RPWM。由74HC00和9012构成的逻辑电路根据方向控制信号将PWM信号送往LG9110的不同输入端，从而起到控制电机旋转的速度和方向的作用。开关S1 控制LG9110的供电，从而控制了电机的供电。当系统调试时，可以暂时关闭电机，以避免干扰。插座Connect将B板与A板连接起来。来自A板的系统复位信号可以关闭74HC00的两个门电路，从而阻断送往LG9110的所有信号。

电源供给电路有两个功能——稳压和滤波。当用户使用18650等锂电池时，由于电压较高，需要7805进行稳压。当使用干电池时，不需要稳压，应将跳线J2短路。肖特基二极管VD1和电容C3、C4构成滤波电路。电机供电有5V点引出，如接入示波器，可看到明显的锯齿状波形，经过滤波电路，在VDD点将得到平滑的波形。从VDD引出的电压可供给B板其他小功率器件，并经Connect连线送给A板作为工作电压。

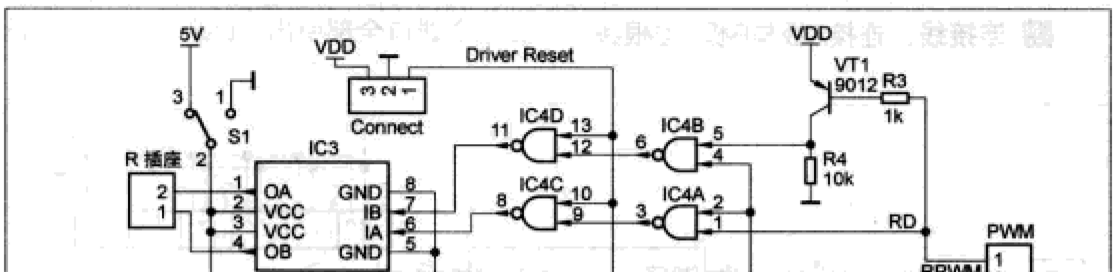


图6 B板电路图

中断技术

在机器人控制中，对传感器的检测通常使用两种技术——轮询或中断。

轮询就是主程序段有一个无限循环部分，不断循环查询接有传感器的端口的状态，一旦发现变化，则命令执行机构做出相应的动作。轮询法的优点是程序简单明了，缺点是占用系统资源，而且会带来系统整体响应的延迟，让机器人看上去有点迟钝。

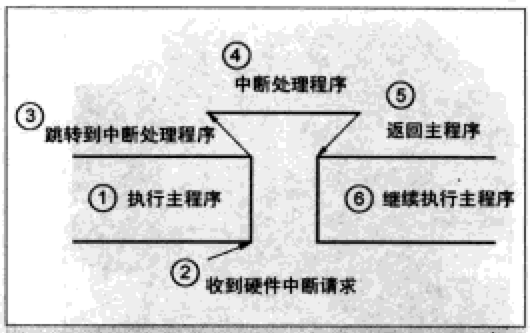


图7 中断的过程

中断则不同，这是一种软硬件结合的方式。中断是单片机芯片设计中就带有的功能，其工作原理是由外界电平变化反应到某个特定（能够引发中断的）端口上（中断源），此时无论程序执行到哪里，都会自动跳转到一个专属此中断的地址（中断向量）。在这个地址一般会安排一条跳转地址，跳转到一段所谓的中断服务程序继续执行。这段中断服务程序执行完，最后是一条中断返回指令，系统将跳回刚才被中断的地方继续执行。图7 形象地描述了中断的过程。

ATmega48系列单片机设计了两个外部中断源INT0、INT1，分别安排在端口D的第2和第3引脚。另外，当每个端口的引脚电平发生变化时，都可以引发端口引脚电平变化中断。

ROBOT C开发平台为初学者提供了便捷的中断设置对话框。点击中断设置按钮（见图8）后调出中断设置对话框（见图9）。用户只要简单地勾选、下拉或点击所需要的中断和触发方式，然后点击“确定”按钮即可，系统会自动生成相应的中断向量定义语句、中断服务程序框架和中断寄存器初始化设置函数。

z你所要做的事就是在中断服务程序框架内编写中断所要完成的工作，然后在主程序模块的初始化部分加入对中断寄存器初始化设置函数的调用语句。

有关中断的详细说明，这里不再赘述。读者要搞清的是几个中断触发方式的概念：状态、跳变沿和电平变化。

所谓状态，是指电平处于某个值维持一段时间不变，例如高电平状态或低电平

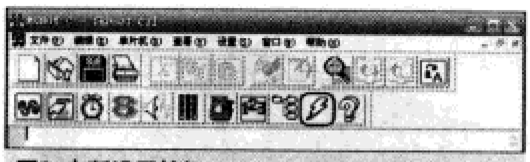


图8 中断设置按钮

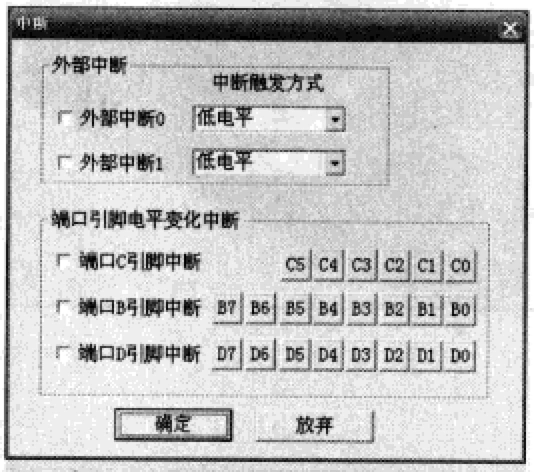


图9 中断设置对话框

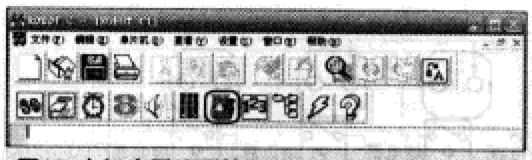


图10 电机应用设置按钮

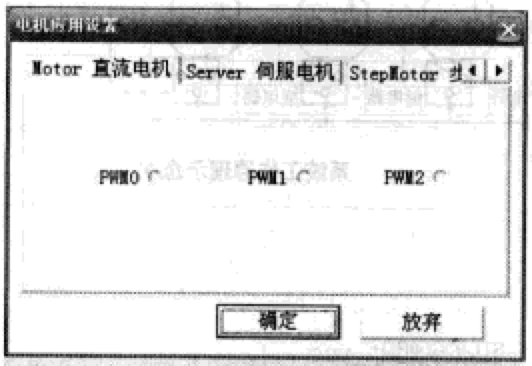


图11 电机应用设置对话框

状态。外部中断INT0和INT1就支持低电平状态触发。这种模式要慎用，因为一旦该引脚的电平由高变低，然后保持着低电平状态，中断会不断引发，直至电平恢复到高，这也许会造成一些莫名奇妙的后果，是我们不需要的。

跳变沿引发中断是指当电平由高变为低或由低变为高时的下降沿或上升沿引发的中断，这是最常用到的中断触发方式。因为外部世界的电平往往处于不是高就是低的自然状态。例如遥控器，平时无信号时，其引脚都处于低电平状态，一旦给出信号就会由低跳变到高，产生一个上升沿，单片机端口感知后，就会引发中断。

电平变化是指无论电平由高变低还是由低变高，都会引发中断。这就带来一个问题，中断会连续产生两次。解决办法是在中断服务程序中要加入一些判断语句，以便筛选出我们需要的电平变化去执行中断服务。在后面的实战用例中，用汽车遥控钥匙遥控机器人使用的是外部中断0，而用玩具遥控器遥控机器人使用的是引脚电平变化中断。

PWM调速与弯道策略

PWM即脉冲宽度调制技术，是小车类机器人必用的技术，主要用来调速。有关详细技术细节在教科书中或是技术手册中都有描述，本文重点在实际应用。PWM波形的产生可以用软件方法，但这要占用系统资源，而且不够灵活。ATmega48系列单片机内置了PWM波形产生功能，其实就是其3个定时器的功能扩展，这些定时器除了产生定时信号外，还可以产生多种PWM波形。

机器人在行走过程中不可能总是走直线，所以转向是设计机器人时必须考虑的功能。最简单的做法是当需要转向时，一侧电机正转，另一侧反转或停机。这实际是让机器人在原地旋转，方法简单，但其缺点也是明显的。首先，机器人的动作显得非常突兀，特别是走弯道时扭来扭去，姿态不好看，也耽误速度，搞得不好甚至会不断扭动，失去控制。用自动控制专业术语讲，叫“超调”或是“震荡”。

通过改变机器人两侧电机的PWM参数，就可以实现流畅的转向动作。一侧快一点，另一侧慢一点，可以获得非常理想的转弯半径，其轨迹为顺畅的弧度。使用硬件，即单片机定时器内置的PWM功能产生的波形就可以做到这一点，而且程序相当简单。

ATmega48系列单片机有3个定时器，都具有产生PWM波形的能力，而且可以同时在两个端口引脚输出不同频率的PWM波形，这就为我们控制机器人的行走提供了便利。ROBOT C针对这3个定时器提供了3组PWM波形的初始化函数和应用函数，它们是use_PWM0与Motor0(lt,rt)、use_PWM1与Motor1(lt,rt)、use_PWM2与Motor2(lt,rt)。其中应用函数里的调用参数lt与rt分别是左电机和右电机的PWM 参数。每个定时器在设置完成后，都可以在无需系统干预的情况下，自动连续产生两个PWM信号。主要的区别在于定时器0和定时器2的定时计数器是单字节的，而定时器1的定时计数器是双字节的，因而定时器1产生的波形的调节过程更加细腻。本文中的所有实战案例均采用定时器1 产生PWM波形。另外，单片机内置的PWM波形都是输出到固定引脚上的，定时器1 就固定使用端口B 的引脚1 和引脚 2。

ROBOT C开发环境同样提供了用户友好的PWM设置对话框，并自动生成所需的相关初始化函数和应用函数。点击“电机应用设置”按钮（见图10），可调出电机设置对话框（见图11）。选择直流电机、PWM1电机调速功能，然后确定，系统会自动为你插入语句。

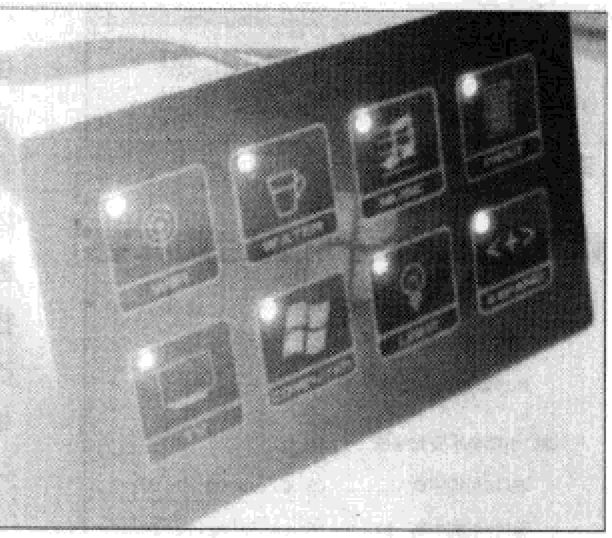
同样，你所要做的就是将初始化函数use_PWM1( )插入到主程序模块的初始化部分。然后在程序需要时，调用函数Motor1(lt,rt) 即可。lt和rt分别是左、右电机的PWM参数，最终控制两侧电机的转速，达到机器人运行调速和转向的目的。

需要注意的是，你所给出的调速参数数值越大，速度越慢。这是因为你给出的参数实际是定时器的定时起始值，定时器的计数是从用户设定的起始值开始计数的。比如定时器1的定时计数器是双字节的，即可计数范围是0~1023，假如你给的起始值是500，计数器就从500开始累进计数，至1023计满后返回，再从500开始计，这时你可以得到一个几乎对称的PWM波形。假如你给出的调速参数是1000，则计数器很快计满，然后返回重新计，你得到的是一个非常窄的PWM波形，结果导致电机得到的平均电压很低，不足以维持运转，就停机了。

◇王斌

Relay 8 诞生记

——“智能家居”之DIY“8路供电中控系统”



DIY背景

相信大家总有一些家用电器需要集中从一个插线板上取电的情况，比如说我家的写字台。我家写字台上有一个插线板，需要取电的电器却有很多：无线路由器、饮水机、笔记本电脑、低音炮、台灯、打印机、电视机等。桌面上难免会堆放很多电源插头，一不注意，这些乱七八糟的电源插头还有可能掉到桌子下面。图1所示就是以前电源插头乱七八糟的样子。于是我想，能不能把这些各式各样的电源插头隐藏起来，通过一个简单的控制面板就可以方便、快捷地控制这些电器的供电呢？

DIY构想

由于ULN2803芯片内部集成保护二极管，非常适合驱动继电器，因此，本次DIY选用ULN2803芯片驱动250V继电器，并选用STC90C58RD+单片机作为核心处

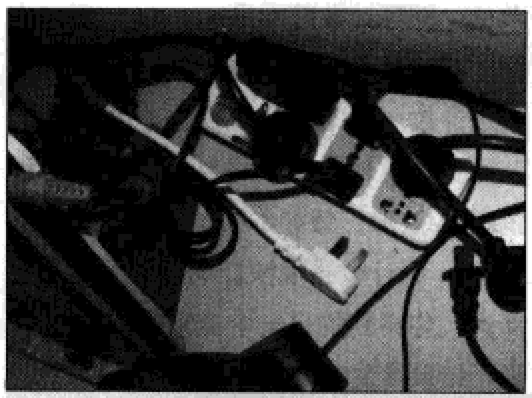


图1 乱七八糟的电源插头原样

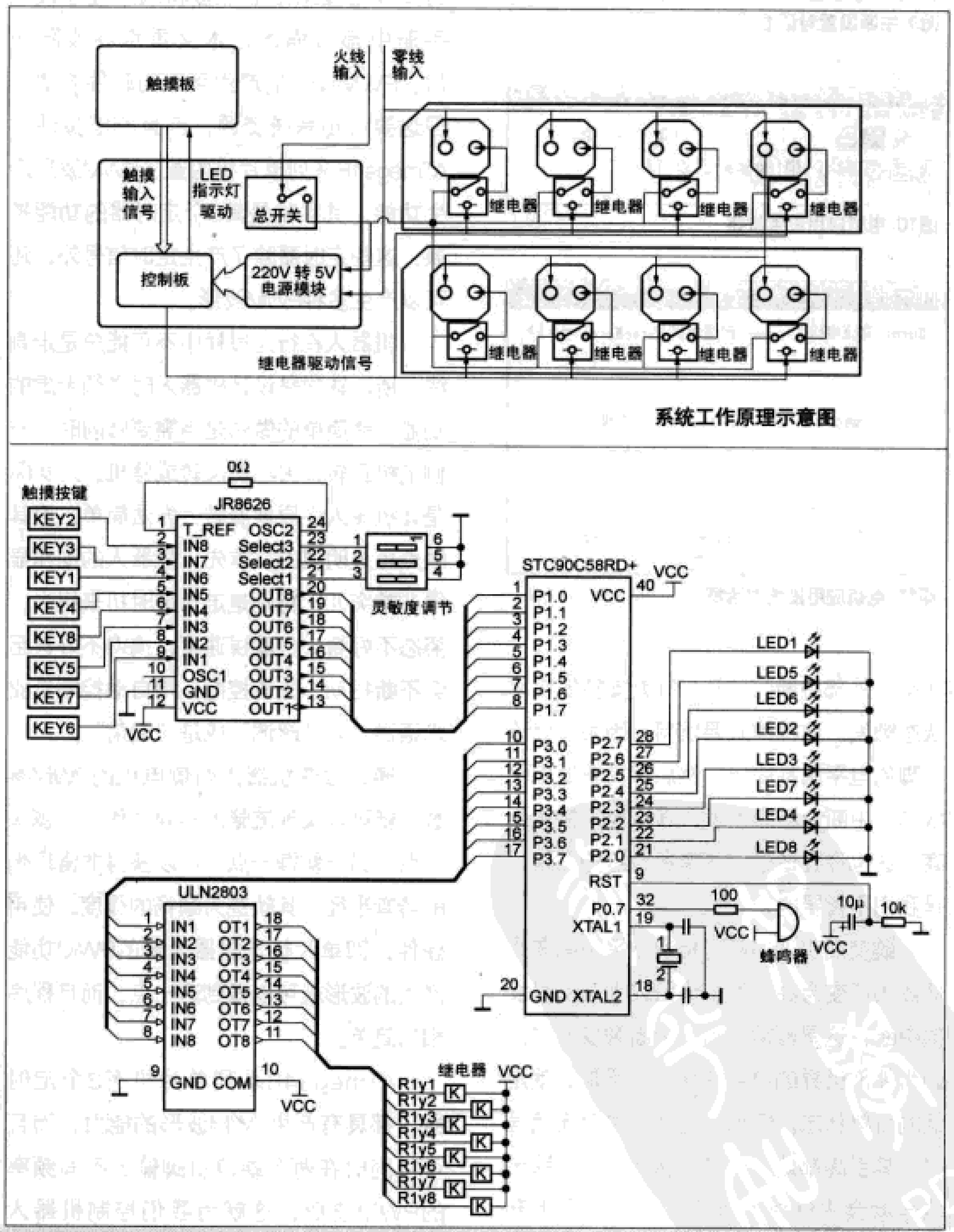


图2 控制电路原理图

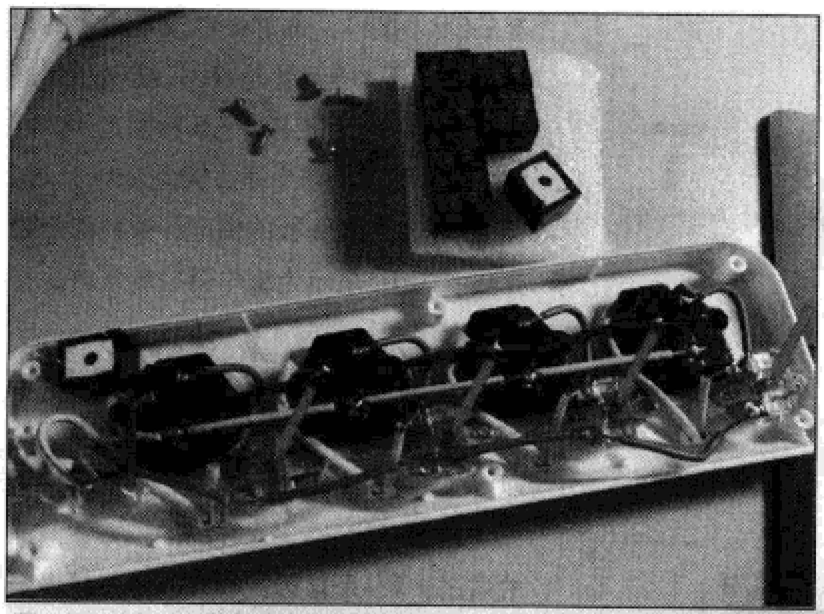


图3 把原来插线板的按键开关拆掉

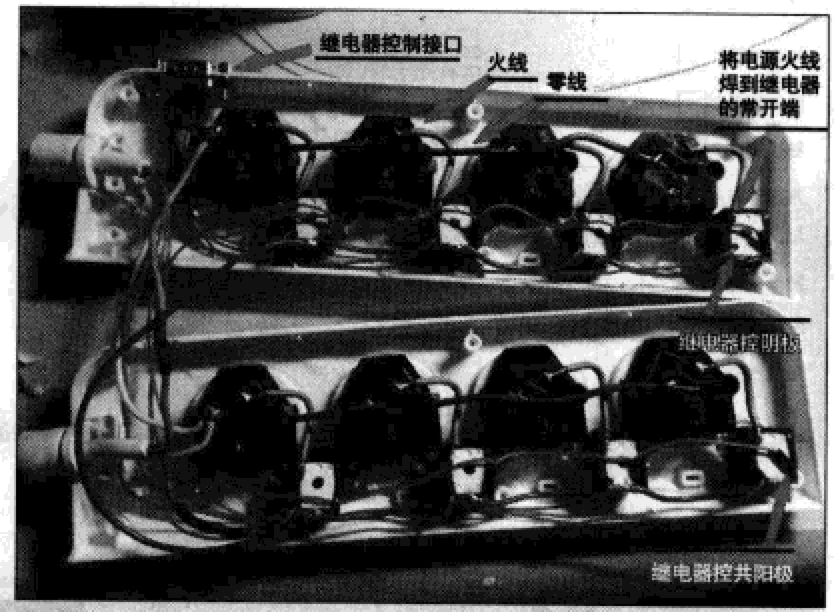


图4 焊好8路继电器，并布好控制线，插线板改造基本完成

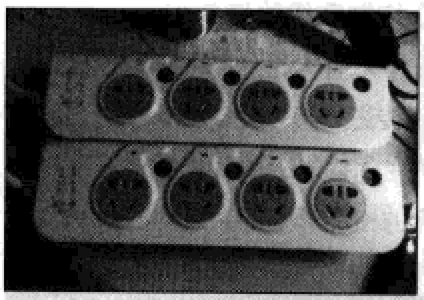


图5 两个插线板合二为一的效果

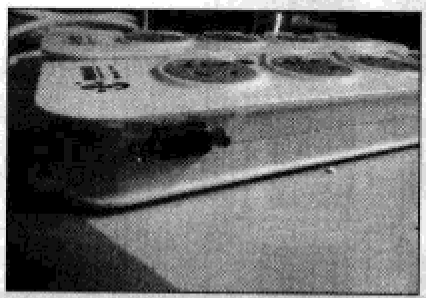


图6 继电器控制端口的特写

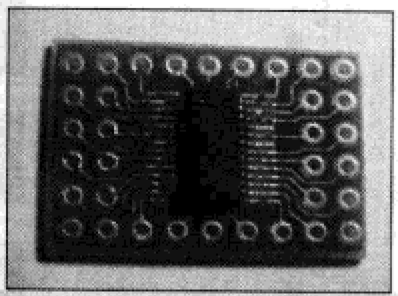


图7 将芯片转焊到SSOP转DIP的转接板上

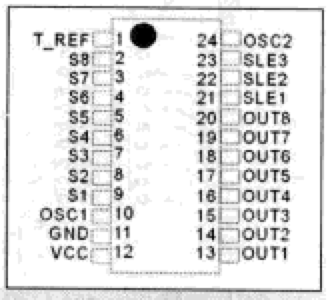


图8 JR8626电容触摸芯片引脚图

理芯片。另外，为了使整个DIY作品更加有“品位”，我还选用了JR8626专业8键电容触摸芯片作为触摸信号处理芯片，配合“定制”的8键触摸板，就可以实现通过电容式的触摸独立控制多个电器的电源了。这样，桌面就可以和那些乱七八糟的电源插头说再见喽！图2所示为控制电路的原理图和系统工作原理示意图。

开始DIY吧

准备两个带独立控制开关的4×3孔插线板。当然，你也可以准备一个带独立开关的8×3孔插线板。这里之所以要用带独立开关的插线板，是因为我们可以把原来按键开关拆掉（如图3所示），把DIY用的继电器放在原来按键开关的位置，剪断原来的火线，焊到继电器的开关端上。将8只继电器线圈的一端通过导线焊在一起，作为8只继电器的共阳端，继电器线圈的另一端分别焊上一根导线，作为8只继电器的阴极，这样，就可以通过5V低压来控制220V用电器的闭合与断开了。因为有8根阴极线，1根共阳线，共9根线，所以在本次DIY中，我使用的是标

表1 JR8626专业电容触摸芯片引脚说明

引脚号	引脚名称	引脚类型	描述
1	T_REF	输出	使用时与OSC2引脚短接
2~9	S8-S1	输入	传感器输入
10	OSC1	输入	系统振荡器输入，可空置
11	GND	Power	电源地
12	VCC	Power	电源正极
13~20	OUT1-OUT8	输出	输出脚，芯片初始化后为高电平
21~23	SLE1-SLE3	输入	8级灵敏度选择脚（对应电平设置见表2）
24	OSC2	输入	传感器、振荡器输入，使用时与1脚短接

表2 8级灵敏度调节开关选择电平对应表

灵敏度值	Select3	Select2	Select1
1	1	1	1
2	1	1	0
3	1	0	1
4	1	0	0
5	0	1	1
6	0	1	0
7	0	0	1
8	0	0	0

备注：SLE3、SLE2、SLE1这3个引脚内部有上拉电阻，系统默认为111时，灵敏度最高，可以感应的面板厚度最厚，3个引脚均接地时，灵敏度最低，可以感应的面板厚度最薄（更改灵敏度值后，需重新上电才可生效）。

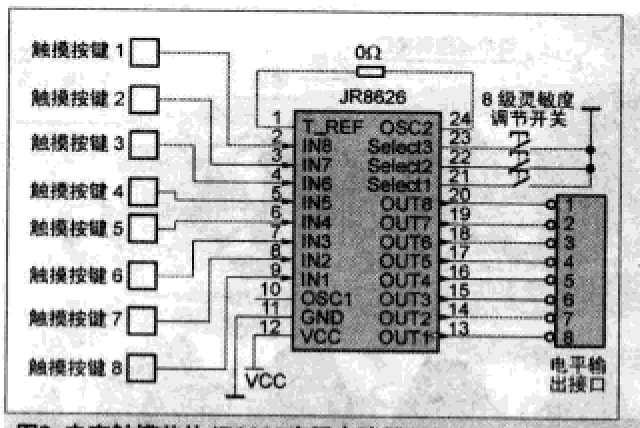


图9 电容触摸芯片JR8626应用电路图

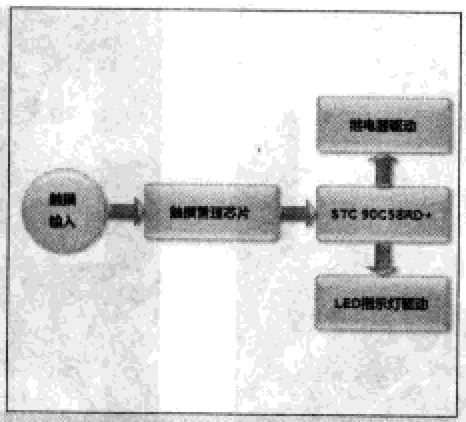


图10 程序控制图

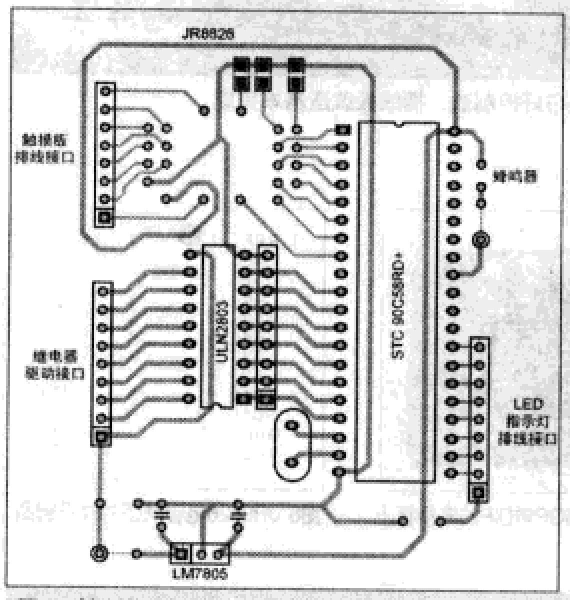


图11 控制板PCB图

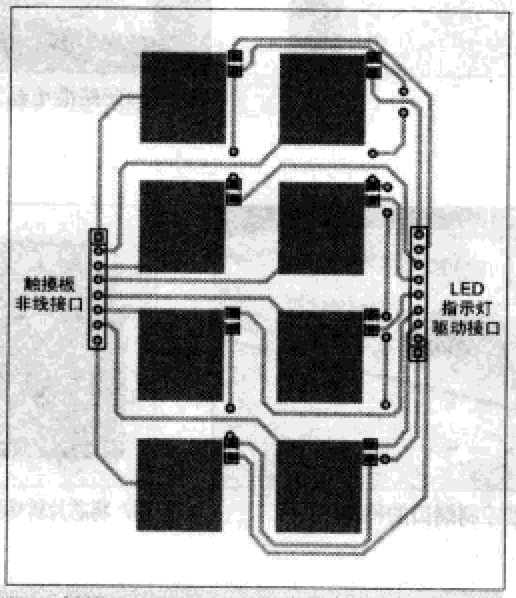


图12 触摸板PCB图

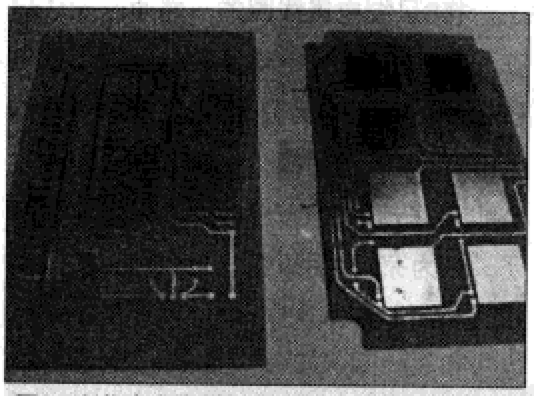


图13 制作完成的PCB

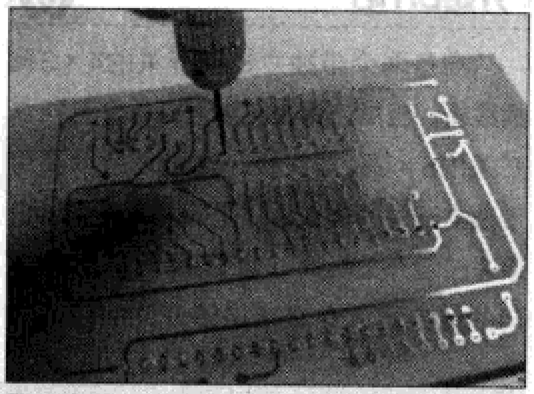


图14 打孔

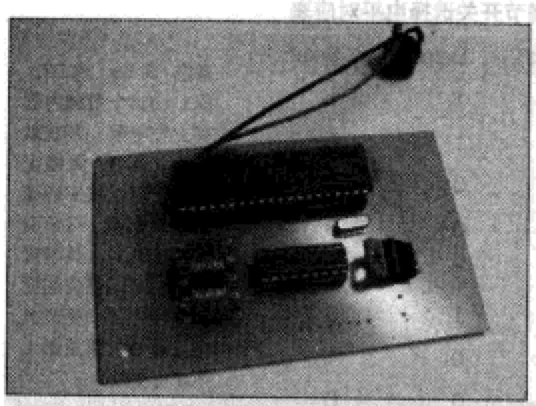


图15 已完成的控制板

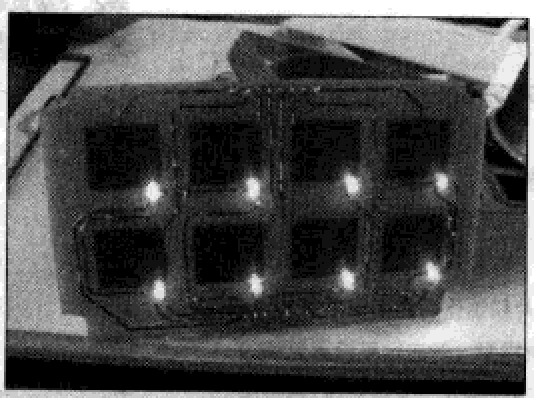


图16 制作完成的触摸板

准的DB-9接口，也就是台式电脑上的串行接口。图4所示就是将8只继电器焊好以后的效果。用PCB的下脚料固定两个插线板的背板，将两个插线板合二为一（如图5所示），插线板的供电和被控部分就完成了。图6所示为继电器控制端口的特写。

下面说说触摸控制芯片。因为JR8626电容触摸芯片为SSOP24封装，所以首先将芯片转焊到SSOP转DIP的转接板上（如图7所示），这样的话，方便前期的调试，表1是该触摸芯片的一些技术资料，其引脚图见图8，该芯片的应用电路原理如图9所示。

整个控制系统的框架如图10所示，由触摸板作为输入源，将手指触摸操作的电容变化传送到JR8626触摸芯片，然后将电平的变化输出给单片机的对应引脚。通过程序的检测和控制，针对ULN2803输入针脚和LED指示灯针脚进行相应的电平变化，从而完成“触摸输入→程序判断→继电器驱动 & LED指示灯驱动”的一系列控制功能。

Tips 安全提示

因涉及到强电DIY，所以在改造插线板以及挑选继电器时应注意以下安全要点。

1. 要注意低压控制线和强电电源线的布线，应做到高压电和低压电的良好隔离，必要时可以将引线用热熔胶固定，在各焊接点上用热缩管绝缘，严格避免短路等故障的发生。

2. 要注意继电器的选择，如果继电器选择不符合需要，就会损坏继电器甚至用电器。因为我们要接入的是220V的市电，而家用电器的功率一般不会超过1500W，根据P(功率)=U(电压)× I(电流)，我们可以知道，一般家用电器的工作电流不会超过6.8A。当然，如果电路中存在大功率用电器的话，就要另行考虑了。所以，建议选择标称直流5V控制交流250V、7A的继电器就可以满足要求了。

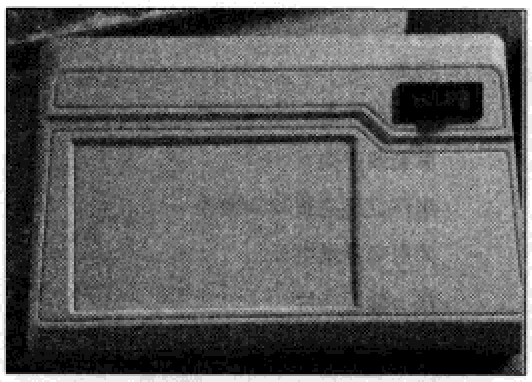


图18 台式外壳的样子

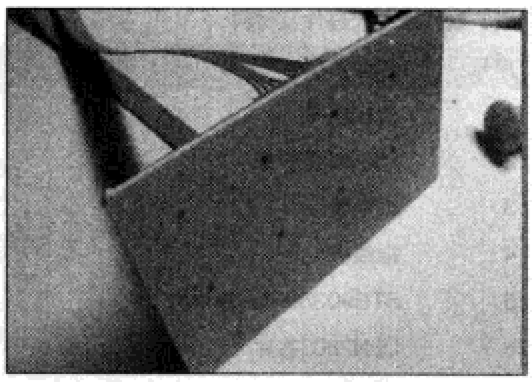


图19 触摸板半成品

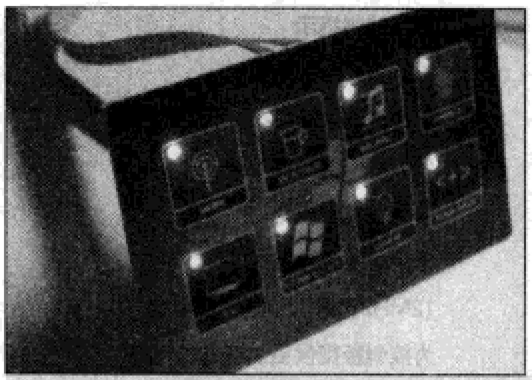


图20 通电测试LED指示灯

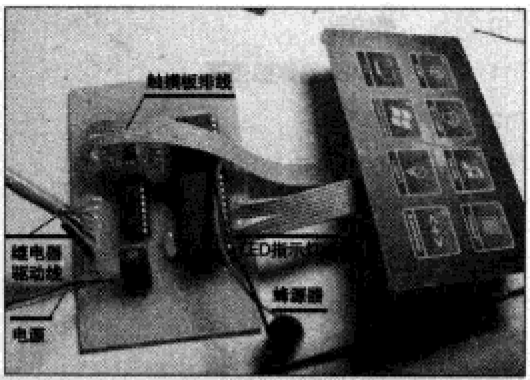


图21 焊好的控制板和触摸板

Tips DIY电容式触摸板原理介绍

DIY中用到的电容式触摸板基本工作原理如图17所示，触摸检测部分主要包括电介质前面板、感应电极、采样电容器、触摸检测芯片。在本次DIY中，塑料外壳充当了电介质前面板的角色，而蚀刻后的覆铜板上的预留铜箔作为感应电极。当然，原理图中的采样电容器已经集成在JR8626触摸检测芯片中了，由JR8626电容触摸检测芯片持续地送出具有固定频率的脉冲信号，并不断检测采样电容器的脉冲变化情况，如果有手指等可以引起电场变化的物体接近或者触碰前面板时，就会引起电场的耦合，进而引起采样电容器上本来稳定的脉冲的变化。这样，采样电容器的脉冲变化就会被JR8626触摸检测芯片检测到，然后，在对应的输出引脚输出电平变化，传输给单片机相应的引脚，进行下一步的程序分析和处理。

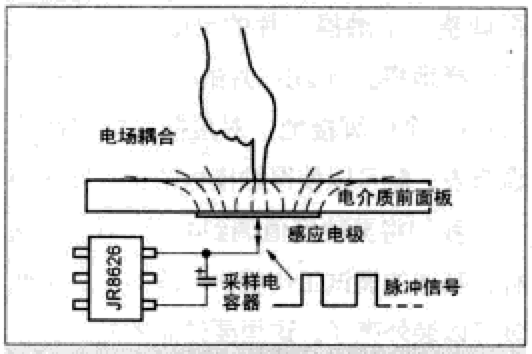


图17 电容触摸按键检测原理图

图11所示为控制板的PCB，包含单片机、触摸芯片和ULN2803芯片等。另外，本次DIY采用外置5V/1A电源模块供电，所以在控制板上加入一片LM7805稳压芯片，配合限流电阻，保障提供给单片机等部分的电压稳定和纯净，从而减小由于电压不稳定对系统造成的影响。图12为触摸板的PCB图样，利用PCB上的铜箔作为电容触摸按键的电极，连接触摸管理芯片的输入端，通过JR8626芯片自带的8级灵敏度调节，准确地感应各个按键上的电容变化，稳定地将触摸信号传送给单片机进行程序判断和处理。由于采用8050贴片

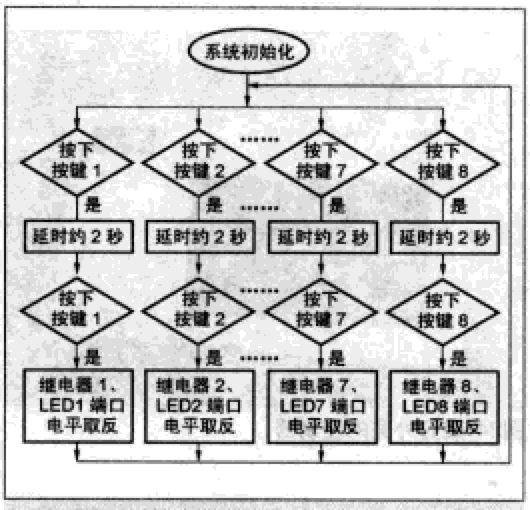


图22 程序运行流程图

LED作为继电器的闭合指示，所以LED指示灯的驱动电流较小，可以利用单片机的P2端口，直接通过将端口置1，驱动点亮共阴极的8只LED指示灯。

本次DIY采用感光方法制作PCB，图13所示为经过覆铜板打磨、涂油墨、油墨固化、菲林纸反色打印、曝光、显影、蚀刻、去膜后的PCB。

做完PCB，接下来，当然是打孔、焊接了，如图14所示。

经过一系列的制作过程，把所需的元件焊好后的控制板终于完成了，如图15所示。

下面开始做触摸板。利用蚀刻好的PCB覆铜的位置作为电容触摸的感应电极，在LED位置焊上LED指示灯，图16所示便是制作完成的触摸板PCB了。

准备台式外壳。一般电子市场都会有卖，价格在8～15元，在壳体适当的位置安装250V船型开关，如图18所示。

用透明的菲林纸打印“定制”的触摸板图样。在外壳触摸板上对应PCB的LED指示灯的位置，打上8个孔，并用热熔胶填充，以便光可以很柔和地透出来。用双面胶把焊好的PCB和壳体粘牢，再贴上打印好的触摸板的图样，触摸板就搞定了，如图19所示。

图20所示为完成后的触摸板，通电测试一下LED指示灯，8个触摸按键分别表示：无线路由器、饮水机、低音炮、打印机、电视机、笔记本电脑、台灯、扩展用的插线板。

表3 制作所用元器件及材料

序号	元件名称	数量	功能
1	台式外壳	1只	控制器外壳
2	250V船型开关	1只	总电源开关
3	继电器	8只	用作低压控制220V市电
4	插线板	2个	为用电器供电
5	STC90C58RD+单片机	1只	核心处理芯片
6	ULN2803芯片	1只	继电器驱动芯片
7	JR8626触摸芯片	1只	检测触摸信号并传给单片机处理
8	8050贴片LED	8只	指示各路继电器闭合/端口状态
9	220V转5V/1A电源模块	1个	现成模块，为控制板提供5V电源
10	蜂鸣器	1只	提供蜂鸣提示
11	12MHz晶体振荡器	1只	单片机外部振荡器
12	0Ω电阻	1只	用作JR8626触摸芯片短接1~24脚
13	100Ω电阻	1只	作为蜂鸣器限流电阻
14	10kΩ电阻	1只	单片机复位电路
15	10μF电解电容	1只	单片机复位电路
16	30pF陶瓷电容	2只	12MHz晶体振荡器起振电容
17	LM7805稳压芯片	1只	为控制板提供更加稳定的电源
18	覆铜板等其他辅料	1套	制作PCB及其他连线等

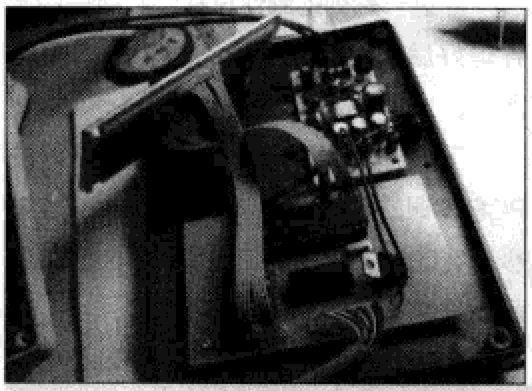


图23 开始装控制器的外壳

图24 装好外壳的控制器

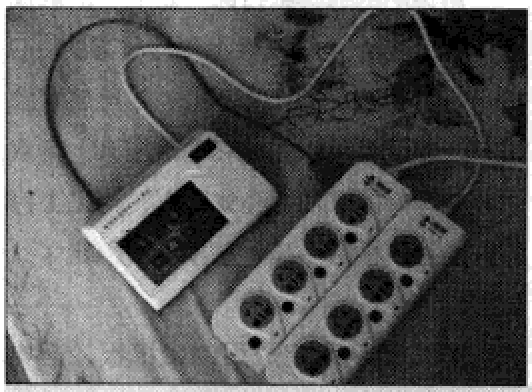


图25 系统组建完成的作品

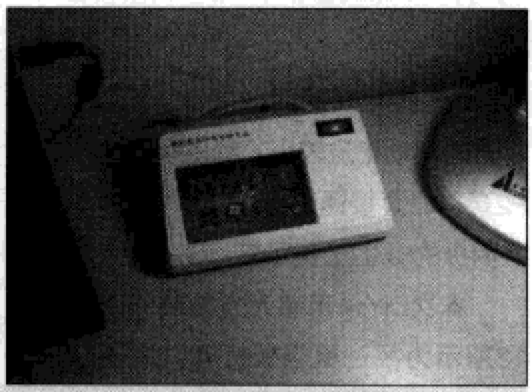


图26 整洁许多的写字台

■ 本制作相关程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

把做好的触摸板和控制板用排线焊好后就可以调试了，如图21所示。

程序说明

系统加电后，单片机程序首先进行初始化，包括触摸信号监听端口、继电器驱动端口和LED指示灯端口的初始化等。然后，系统将持续监听触摸信号输入端口，当有触摸信号输入后，系统将延时约2s。延时的目的是为了避免误触摸操作，如果2s后仍有触摸信号，则立即将继电器和LED端口电平取反，原来断开的继电器闭合，同时LED指示灯点亮，蜂鸣器鸣响，反之同理。图22所示为程序的运行流程图。

感兴趣的读者可以到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载相关的程序代码。

把程序编译一下，烧写到单片机中，再调整一下触摸芯片的灵敏度，也就是有选择地将JR8626芯片的SLE1、SLE2、SLE3三个引脚接地，对应前面的灵敏度调节表，就可以使得触摸板的灵敏度适当了。我们将灵敏度值调到4，刚刚好，这样，基本的调试工作就告一段落了。下面就可以装外壳了。这里要注意的是，由于感应电流的作用，有些220V转5V的供电模块可能会对电容触摸检测过程造成影响，所以，装外壳时应使5V电源模块尽量远离触摸板。图23所示为开始装控制器的外壳。图24所示为装好外壳的控制器。

本次DIY所用到的主要元器件及材料如表3所示。

OK，相信大家已经彻底弄明白了整个控制系统的工作原理了吧，现在是时候让大家看看最后的作品了，如图25所示。因为把很多电源线和插线板都藏到了桌子后面，需要控制电器时，只需按住触摸按键约2s就可以打开或者关闭电源了。现在和以前的桌面比（如图26所示），是不是整洁多了呢？大功告成！

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

RFID卡读写器的设计

RFID（Radio Frequency Identification，射频识别）技术是一种非接触自动识别技术，利用射频信号通过空间耦合（电感或电磁耦合）实现无接触信息传递，并通过所传递的信息达到识别目的。

RFID卡技术成功地融合RFID技术和IC卡技术，解决了无源（卡中无电源）和免接触的难题，是电子信息技术领域的一大突破。由于RFID卡方便、耐用，且可高速通信、多卡操作，在门禁安防、身份识别、公共交通等众多领域正逐渐取代传统的接触式IC 卡，在市场上所占的份额越来越大，应用日益广泛。高速公路、停车场、加油站收费，智能卡水表、电表、煤气表等应用，也可使用RFID卡。从长远角度看，RFID卡将会替换目前广泛使用的接触式IC卡。

RFID卡的突出优点

与接触式IC卡相比，RFID卡具有以下优点：

1. **高可靠性**：由于无触点，可最大限度地避免由接触读写而产生的各种故障，提高了抗静电和抗环境污染能力，因此提高了使用的可靠性，延长了读写设备和卡片的使用寿命。

2. **易用性**：操作方便、快捷，无需插拔卡，完成一次操作只需0.1～0.3s。使用时，卡片可以从任意方向掠过读写设备表面。

3. **高安全性**：序列号是全球唯一的，出厂后不可更改。卡与读写设备之间采用双向互认验证机制，即读写器验证卡的合法性，同时卡验证读写器的合法性。通信过程中所有的数据都加密，卡片上不同分区的数据可用不同的密码和访问条件进行保护。

4. **高抗干扰性**：对有防冲突电路的RFID 卡，在多卡同时进入读写范围内时，读写设备可一一对卡进行处理，抗干扰性高。

5. **一卡多用**：卡片上的数据分区管理，可以很方便地实现一卡多用。

6. **多种工作距离**：作用距离从几厘米到几米，适应不同的应用场合。

RFID卡读写器工作原理

RFID卡的结构如图1所示。

RFID卡读写器是连接RFID卡与应用系统间的桥梁，RFID卡读写器的基本任务就是启动RFID卡，与RFID卡建立通信，在应用系统和卡片间传递数据。

RFID卡读写器将要发送的信息编码后加载到一固定频率的载波上，当RFID卡（卡片内有一个谐振电路，其频率与读写器发送的载波频率相同）进入读写器的工作区域后，谐振电路发生谐振并产生电荷积累，当电荷积累到一定数值时，就能为RFID卡内的电路提供工作电压，使卡内的芯片开始正常工作，处理读写器发送的数据信息。RFID卡系统的模型如图2所示。

一个完整的RFID卡读写器应包括以下几个部分（见图3）：单片机、射频处理模块、天线、与PC的通信接口以及键盘、显示等部件。

单片机是读写设备的数据处理控制核心。它不仅要控制射频处理模块完成对RFID卡的读写，还要负责通过通信接口与PC进行通信，并对键盘、显示设备等其他外部设备进行控制。

射频处理模块负责射频信号的处理和数据的传输，完成对RFID卡的读写。

天线的作用有两个：一是产生电磁能量，为卡片提供电源，二是在读写设备和卡片之间传送信息。天线的有效电磁场范围就是系统的工作区域。

与PC的通信接口以及键盘、显示等部件主要实现与PC的通信，以及操作时

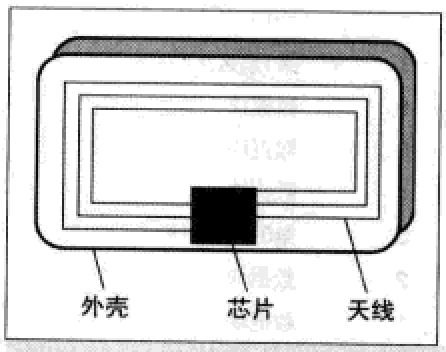


图1 RFID卡的结构图

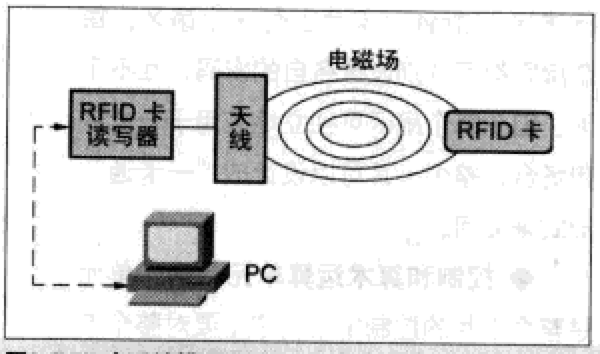


图2 RFID卡系统模型图

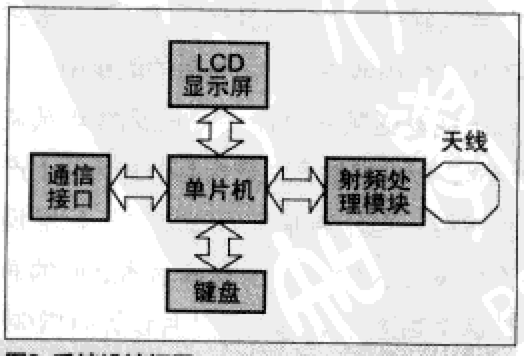


图3 系统设计框图

的人机界面。

根据RFID卡与读写器之间能可靠交换数据的距离，RFID卡天线和读写器之间的耦合可以分为3类：密耦合系统、遥耦合系统和远距离系统。

密耦合系统的典型作用距离范围是0~1cm。在实际应用中，必须把卡插入阅读器中或者放置到阅读器的天线表面。密耦合系统的卡与阅读器之间是电感耦合，其工作频率一般在30MHz以下。密耦合系统适合于安全要求较高，但不要求作用距离的应用系统，如电子门锁等。

遥耦合系统的典型作用距离可以达到1m。遥耦合系统又可以细分为近耦合系统和疏耦合系统，前者的典型作用距离为15cm，后者为1m。所有遥耦合系统在卡和阅读器之间都是电感耦合，典型工作频率为13.56MHz，也有其他频率，如6.75MHz、27.125MHz或者135kHz 以下。

远距离系统的典型作用距离是1~10m，个别系统也有更远的作用距离。所有的远距离系统的卡和阅读器之间都是电磁反向散射耦合，在微波范围内用电磁波工作，发送频率通常为2.45GHz，也有系统使用5.8GHz和24.125GHz的频率。

Philips公司的Mifare卡

Philips公司是世界上最早研制 RFID卡的公司之一，其 Mifare 技术已经被定为ISO/ IEC14443 TYPE A国际标准。使用Mifare芯片的RFID卡占世界范围内同类智能卡销量的60%以上。这里简单介绍一下 Mifare standard卡：MF 1 IC S50（简称Mifare 1卡）。

Mifare 1卡除了微型IC芯片及一个高效率天线外，无任何其他元件。卡片电路不用任何电池供电，工作时的能量由读写器天线发送频率为13.56MHz无线电载波信号，以非接触方式耦合到卡片天线上产生电能，电压通常可达2V以上。标准操作距离可达10cm，卡与读写器之间的通信速率高达 106kbit/s。芯片设计有增/减值的专项数学运算电路，适合公共交通、地铁车站等行业的检票/收费系统，其典型交易时间最长不超过100ms。

Mifare 1卡芯片内含1KB的EEPROM存储器，其空间被划分为可由用户单独使用的16个扇区。数据的擦写次数超过10万次，数据保存期大于10年，抗静电保护能力达2kV。

Mifare 1卡的芯片在制造时具有全球唯一的序列号，具有先进的数据通信加密和双向密码验证功能，还具有防冲突功能，可以在同一时间处理重叠在读写器天线有效工作距离内的多张卡片。

Mifare 1芯片内部结构较为复杂，可划分为射频接口、数字处理单元、EEPROM这3大部分，其中数字处理单元又分为若干小部分，如图4所示。

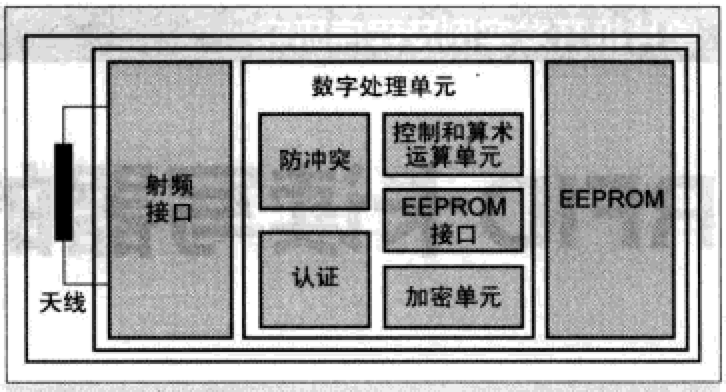


图4 Mifare 1卡逻辑框图

◆ **射频接口**：在RF射频接口电路中，含有波形转换模块。它可接收读写器上的13.56MHz的无线电调制频率，一方面送调制/解调模块，另一方面进行波形转换，然后对其整流、滤波，接着对电压进行稳压等进一步处理，最终输出供给卡上的电路工作。

◆ **防冲突模块**：如有多张 Mifare 1卡处在读写器的天线的工作范围之内时，防冲突模块的防冲突功能将被启动，根据卡片的序列号来选定一张卡片。被选中的卡片将直接与读写器进行数据交换，未被选中的卡片处于等待状态。

◆ **认证模块**：在选中一张卡片后，任何对卡片上存储区的操作都必须经过认证，只有经过密码校验，才可对数据块进行访问。Mifare 1卡片上有16个扇区，每个扇区都可分别设置各自的密码，互不干涉。因此每个扇区可独立地应用于一个应用场合，整个卡片可以设计成“一卡通”形式来应用。

◆ **控制和算术运算单元**：这一单元是整个卡片的控制中心，它主要对整个卡片的各个单位进行微操作控制，协调卡片的各个步骤，同时还对各种收/发的数据进行算术运算处理、CRC运算处理等。

◆ **EEPROM 接口**：连接到 EEPROM。

◆ **加密单元**：Mifare 的CRYPTOL数据流加密算法将保证卡片与读写器通信时的数据安全。

◆ **EEPROM**：容量为1KB，分16个扇区，每扇区有4个块，每块 16 字节。其组织结构如表1所示。每个扇区的块3也称作尾块，是扇区的控制块，其结构如表2所示。前6个字节为密码A（KeyA），永远不能被读出，但在满足一定条件下，可被改写，后6个字节为密码B（KeyB），当密钥使用时是不可读的，但用来存储数据时则是可读的，中

表1 Mifare 1卡的存储器组织结构

扇区	块	描述
15	63	第15扇区尾块
	62	数据块
	61	数据块
	60	数据块
14	59	第14扇区尾块
	58	数据块
	57	数据块
	56	数据块
		……
1	7	第1扇区尾块
	6	数据块
	5	数据块
	4	数据块
0	3	第0扇区尾块
	2	数据块
	1	数据块
	0	厂商标志块

表2 尾块组成及访问权限字节结构

字节	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	密码A						权限位				密码B					

字节＼位	7	6	5	4	3	2	1	0
6	$C2_3$	$C2_2$	$C2_1$	$C2_0$	$C1_3$	$C1_2$	$C1_1$	$C1_0$
7	$C1_3$	$C1_2$	$C1_1$	$C1_0$	$C3_3$	$C3_2$	$C3_1$	$C3_0$
8	$C3_3$	$C3_2$	$C3_1$	$C3_0$	$C2_3$	$C2_2$	$C2_1$	$C2_0$
9								

间4个字节为权限位，存放本扇区的4个数据块的访问条件。控制块使用两个密码，是为了给用户提供多重控制方式。例如，用户可以用一个密码控制对数据块的读操作，用另一个密码控制对数据块的写操作。其余3个块是一般的数据块。扇区0中是特殊的块，包含了厂商代码信息，在生产卡片时写入，不可改写。其中第0~4字节为卡片的序列号，第5个字节为序列号的校验码，第6字节为卡片的容量“SIZE”字节，第7~8字节为卡片的类型号（Tagtype）字节，其他字节由厂商另加定义。

表2中，C1、C2、C3三个数据位表达各块的具体访问权限，下标0、1、2、3分别表示在扇区内的块号。“$C1_3$、$C2_3$、$C3_3$”即为扇区第3块（尾块）的访问权限。为了可靠，访问条件的每一位都同时用原码和反码存储，共存储了两遍。尾块的读写权限的意义如表3所示。

在空卡状态下，每个扇区的尾块数据（16进制）为：“0x 000000000000 FF078069 FFFFFFFFFFFF”。空卡时的密码A和密码B均为“0x FFFFFF”，由于密码A不可读，读出的数据显示为“0x 000000”。在空卡默认读写权限下可以利用密码A对所有块进行读写操作，并更改各块的读写权限，但不可以利用密码B进行读写操作（此时密码B可读）。

权限位为：“0x FF078069”，由表2，得：

$C1_3=0$ $C1_2=0$ $C1_1=0$ $C1_0=0$

$C2_3=0$ $C2_2=0$ $C2_1=0$ $C2_0=0$

$C3_3=1$ $C3_2=0$ $C3_1=0$ $C3_0=0$

$C1_3C2_3C3_3=001$，根据表3，密码A不可读，但通过密码A校验后，可改写密码A，权限字节及密码B的读写权限均可用密码A读写。

另外，由表3可知尾块的下列属性：密码A永远不可读，因此一旦设定就必须记住，不过在000、100、001、011几种情况下可以改写，访问权限字节仅在001、011、101三种状态下可写，密码B在000、100、001、011四种状态下可写，在000、010、001三种状态下可读（此时密码B的6个字节用于存储数据，不再作为密钥）。

数据块的读写权限如表4所示。对数据块的增值、减值操作，仅在状态“110”和“001”下可进行。而第0块（厂商数据块）虽然也属于数据块，但是它不受权限字节影响，永远只读。在空卡情况下，数据块的读写权限代码$C1_iC2_iC3_i=000$，密码A和密码B的读写访问权均为“A/B”，表示可用密码A或者是密码B对各数据块进行读写，但实际上由于在空卡默认状态下密码B是可读的，所以不可用密码B读写数据。

电路设计

RFID卡读写器主板的电路原理图如图5所示，由单片机、与PC的通信接口、键盘、LCD显示等部分组成。RFID卡读写器射频处理模块及天线等的电路图如图6所示。

射频处理模块（也称为射频基站模块）是射频卡读写器的关键部件，RFID卡读写器通过该模块与射频卡进行数据通信。射频处理模块的主要部件就是射频基站芯片，这里我们选用Philip公司的MFRC522。它是13.56MHz非接触式通信中高集成读卡IC系列中的一员，利用

表3 尾块的权限代码与访问权限

权限代码			访问权限						说明
			密码A		权限字节		密码B		
$C1_3$	$C2_3$	$C3_3$	读	写	读	写	读	写	
0	0	0	N	A	A	N	A	A	密码B可读
0	1	0	N	N	A	N	A	N	密码B可读
1	0	0	N	B	A/B	N	N	B	
1	1	0	N	N	A/B	N	N	N	
0	0	1	N	A	A	A	A	A	密码B可读
0	1	1	N	B	A/B	B	N	B	
1	0	1	N	N	A/B	B	N	N	
1	1	1	N	N	A/B	N	N	N	

（注：N表示不能，A表示KeyA，B表示KeyB，A/B表示KeyA或者KeyB）

表4 数据块（i=0、1、2）的权限代码与访问权限

权限代码			访问权				应用
$C1_i$	$C2_i$	$C3_i$	读	写	增值	减值	
0	0	0	A/B	A/B	A/B	A/B	空卡默认状态
0	1	0	A/B	N	N	N	读写块
1	0	0	A/B	B	N	N	读写块
1	1	0	A/B	B	B	A/B	数值块
0	0	1	A/B	N	N	A/B	数值块
0	1	1	B	B	N	N	读写块
1	0	1	B	N	N	N	读写块
1	1	1	N	N	N	N	读写块

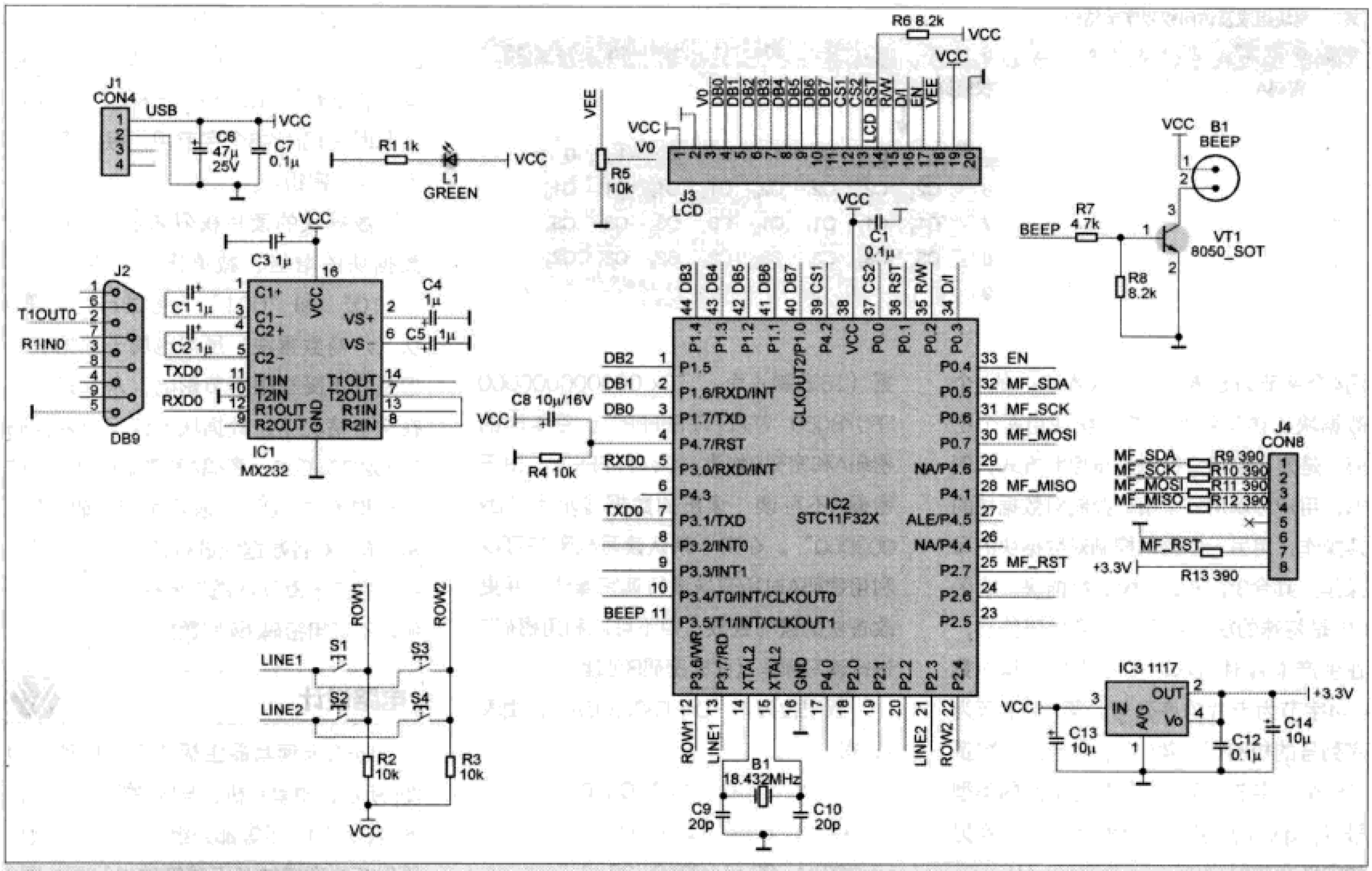


图5 RFID卡读写器主板电路原理图

先进的调制和解调概念，完全整合了在13.56MHz下任何类型的被动非接触式通信方式和协议。它内部包括微控制器接口单元、模拟信号处理单元、IS014443A规定的协议处理单元，以及Mifare卡特殊的Cryptol安全密钥存储单元，可以与所有兼容Intel或Motorola总线的微控制器直接连接，其内部还具有64个字节的先入先出（FIFO）队列，可以和微控制器实现高速数据传输。

MFRC522内部的发送器部分无需增加有源电路就能够直接驱动近操作距离的天线（可达10cm），接收器部分提供一个高效的解调和解码电路，数字部分处理ISO14443A帧和错误检测。

天线部分主要包括低通滤波器、接收电路、天线匹配电路和天线线圈，天线拾取的信号经过天线匹配电路送到RX脚，MFRC522的内部接收器对信号进行检测和解调，并根据寄存器的设定进行处理。然后数据被发送到并行接口，由单片机进行读取。制作完成的实验样机如图7所示。

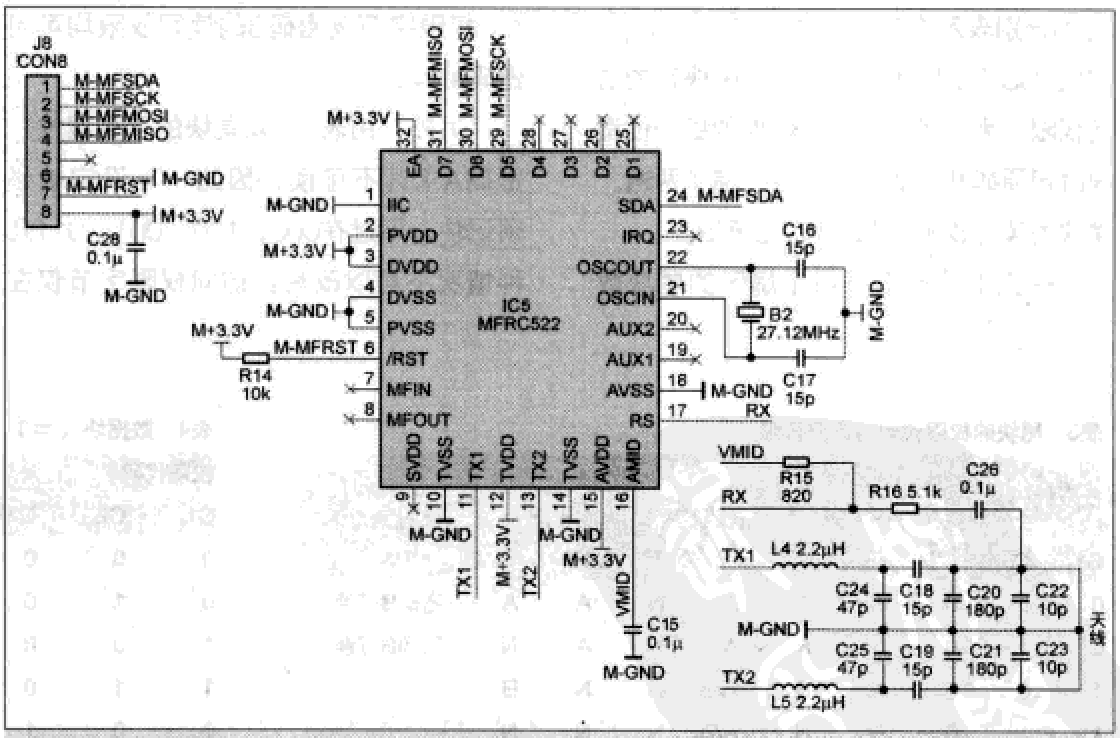


图6 RFID卡读写器射频处理模块及天线电路图

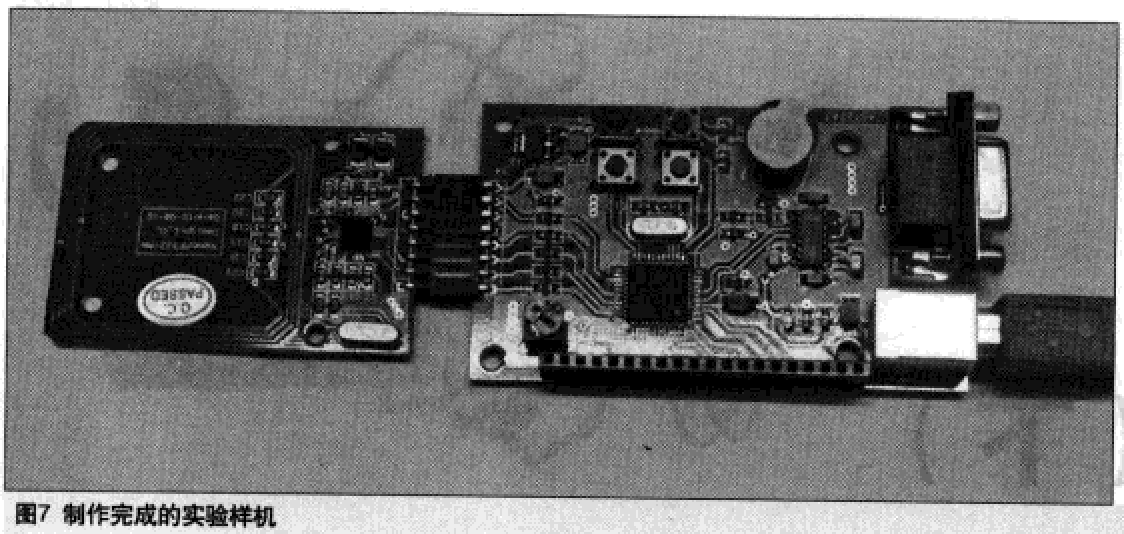


图7 制作完成的实验样机

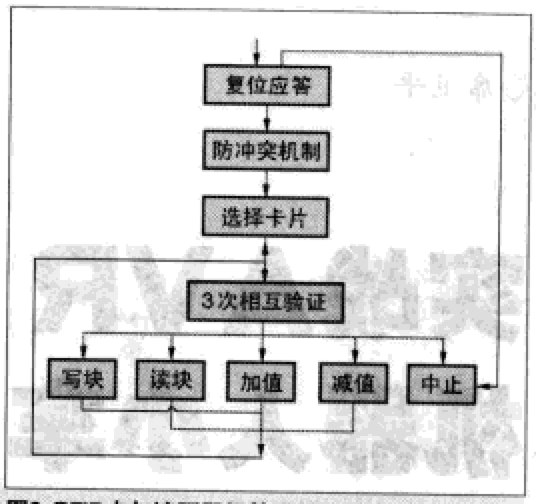


图8 RFID卡与读写器间的通信流程

软件设计及使用

程序采用结构化模块方式设计，条理清晰、结构完善，便于整个程序的装配。限于杂志的篇幅，本文不对程序作详细介绍，有兴趣的读者可以到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn进行下载，这里只对相关的读写过程作简单介绍。

读写卡是一个非常复杂的程序执行过程，要执行一系列的操作指令，调用多个子函数，包括装载密码、询卡、防冲突、选卡、验证密码、读写卡、停卡等。这一系列的操作必须按固定的顺序进行。在没有Mifare 1卡片进入射频天线有效范围时，LCD显示“欢迎光临”，当有Mifare 1卡片进入到射频天线的有效范围时，读写器验证卡及密码成功后，将卡号、消费金额、充值金额和余额等数据作为一条记录存入EEPROM存储器中，并同时在LCD上显示出来。

◆ 写（设置）RFID卡

读卡器对卡进行数据的读写、密码的管理和功能的测试，可以进行寻卡、防冲突、选择和终止等功能。可对RFID卡的16个扇区进行密码的下载及A、B组密码的选择。可对每个扇区3个块的数据进行读写。块值操作包括初始化、读值、加值、减值、密码的修改等。

◆ 读RFID卡

首先寻卡，进入卡处理程序，紧接着防冲突，成功之后，加载密码，之后便可对卡进行数据的读取和操作。完成之后等待卡的拿开，确保每次只读一次数据。

◆ 读写器与射频通信程序

RFID卡与读写器间的通信流程如图8所示，各功能定义如下。

1．复位应答：射频卡的通信协议和通信波特率是定义好的，当有射频卡进入读写器的操作范围时，读写器以特定的协议与它通信，验证卡片的卡型。

2．防冲突机制：当有多张卡进入读写器操作范围时，防冲突机制会从其中选择一张进行操作，未选中的则处于空闲模式，等待下一次选卡，该过程会返回被选卡的序列号。

3．选择卡片：选择被选中的卡的序列号，同时返回卡的容量代码。

4．3次互相确认：选定要处理的卡片之后，读写器就确定要访问的扇区号，并对该扇区密码进行密码校验。在3次相互认证之后，就可以通过加密流进行通信。当选择另一扇区时，则必须进行另一次密码校验。

5．对数据块的操作：读一个块、写一个块、对数值块进行加值、对数值块进行减值、将卡置于暂停工作状态。

进入等待状态时，RFID卡读写器的屏幕上显示“欢迎光临”（见图9）。图5中按键S1~S4的作用如下：按动S1后，读写器进入消费工作模式（见图10）；按动S2后，读写器进入充值模式（见图11）；按动S3后，读写器进入注册模式（见图12）；按动S4后，读写器进入读卡工作模式（见图13）。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

图9 进入等待状态

图10 消费工作模式

图11 充值模式

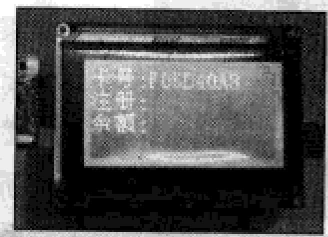
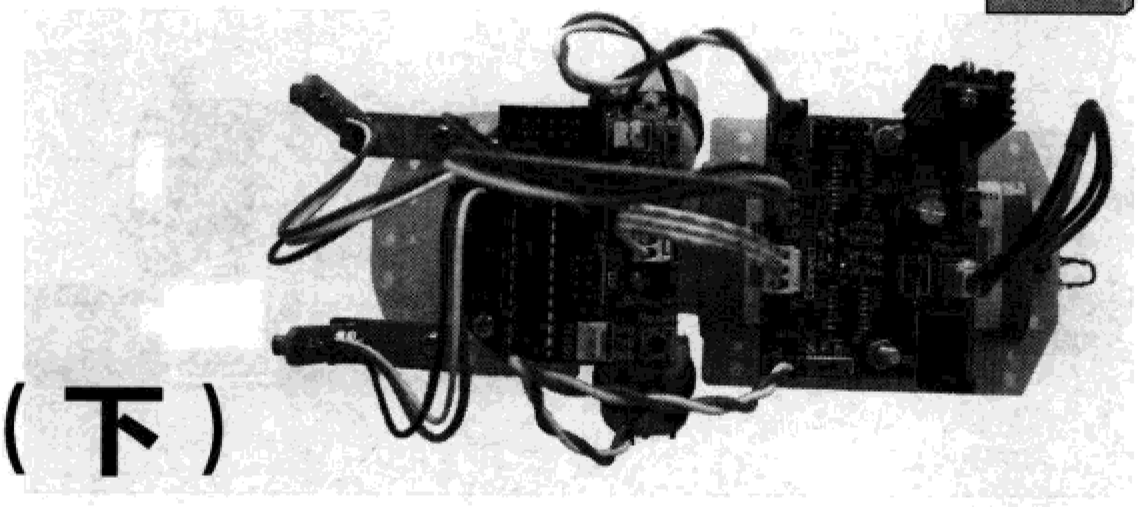


图12 注册模式照片

图13 读卡工作模式

◇席卫平

实战AVR机器人小车（下）



应用案例1 循线机器人

循线机器人是机器人入门和比赛最常用的控制方式，其特点非常明显：在白底上粘贴黑色轨迹，机器人使用光电探测器追踪轨迹前行。探测器一般选用红外的，也有选用激光的。高级一些的，为了避免比赛场地日光灯等干扰，还加入了38kHz调制技术。

本例只使用两只红外光敏探测器（部件H）实现循迹功能，安装方式如图12所示。因为使用PWM对两侧电机调速，机器人的运行非常平稳，没有扭来扭去的动作。

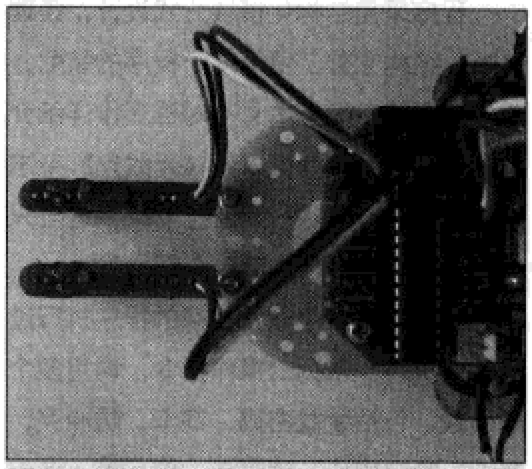


图12 红外光敏探测器的安装方式

■ **相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。**

应用案例2 追光机器人

这款追光机器人使用两只光敏电阻（部件G）探测机器人两侧的光照强度，以此为依据，调整机器人行进方向，实现追踪。其实，灭火搜救类的比赛就用到此技术。光敏电阻的安装方式如图13所示。

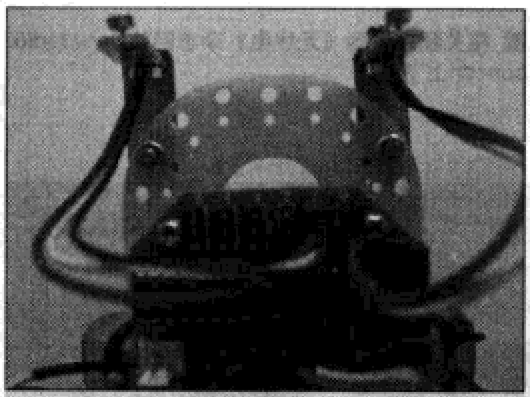


图13 光敏电阻的安装方式

做这个实验时，要想获得更好的效果，可以给两只光敏电阻加装遮光罩。具体做法是选用合适的热缩管，剪开一个斜面（见图14），套住光敏电阻，斜面朝向上方。这样可以更好地让光敏电阻感受从前方打来的手电筒光照。

因为光敏电阻给出的是模拟量，所以本例使用ATmega48单片机的ADC转换功能来采集光敏电阻的值。ROBOT C开发环境同样提供了ADC设置对话框，自动生成所需的相关初始化函数和应用函数，如图15所示。

系统会自动为你插入如下语句：

“init_ADC();//使用ADC，配合函数val=get_ADC(chl); 使用。//其中，val为整数变量，存转换结果，chl为字符变量存信道数”。

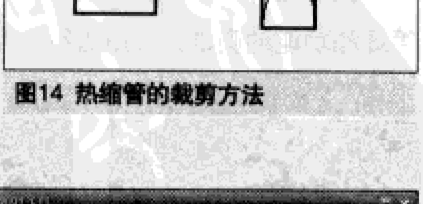


图14 热缩管的裁剪方法

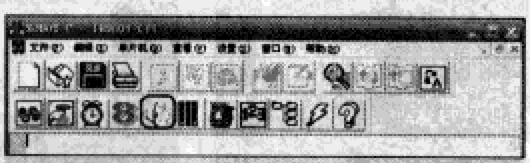


图15 ADC转换设置按钮

应用案例3 滑雪绕桩（避障）机器人

本例是一款非常有趣，同时又有一定调试难度的玩法。其特点是要使你的机器人在若干个白色圆柱体之间来回穿梭绕行，如图16所示。

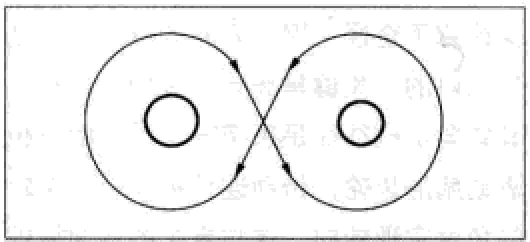


图16 滑雪绕桩

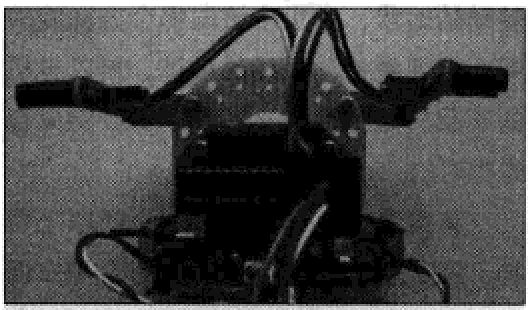


图17 红外探测器的安装方式

与循线小车类似，本例也采用两只红外探测器，只是两只探测器竖着装在机器人头部两侧，如图17所示。

机器人的程序调试要分两步走。首先让机器人能围着一个白色圆柱走出一个圆，主要是根据你所使用的传感器的灵敏度、机器人所带电源、场地等因素调试出合适的左、右电机的运行速度。根据笔者经验，这个圆的半径在15~20cm比较合适。先调一个方向，再调另一个方向，左右两个方向的圆都调试好后，就可以将交叉点的转换语句加进去，完成总体调试。绕桩机器人的软件流程如图18所示。

这款机器人也可以有很多变形玩法，可以让它沿着白色的墙走，成为避障机器人，甚至在程序中加入回溯和存储记忆功能，升级成迷宫鼠（当然，芯片也要换成ATmega168或ATmega328）。

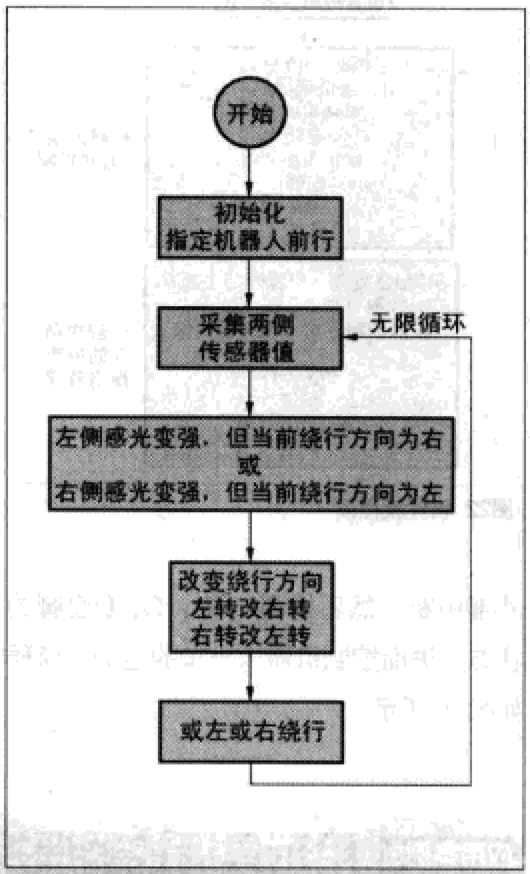


图18 绕桩机器人软件流程图

应用案例4 用汽车遥控钥匙遥控机器人

无线遥控也是机器人常用的控制方式之一。特别是低成本的方案，更有利于机器人活动的普及。本节向读者介绍如何用汽车遥控钥匙套件实现无线遥控。

说到汽车遥控钥匙或报警器，大家都很熟悉（见图19）。其发射器很小巧，用户一般都挂在钥匙链上，接收器也是一块很小的板子（见图20）。

无线遥控车锁已是很成熟的技术，一般是超再生或超外差式电路，收/发的通信方式为调幅AM，频率设定为316.8MHz。

有读者会问，这些遥控器工作在同一个频率，如何互不干扰呢？答案是依靠编码来区分。以PT2262/PT2272编/解码芯片为例，它有8位3态的地址引脚，可以有悬空、接高电平、接低电平3种状态，很容易实现互不干扰的遥控。

有关编/解码器芯片的详细技术细节不是本文的重点，我们只讨论如何应用现成套件实现机器人遥控。套件在电子配套市场都可以买到，我们所要做的是将解码电路的输出与我们的单片机配合，从而操控机器人的运动。

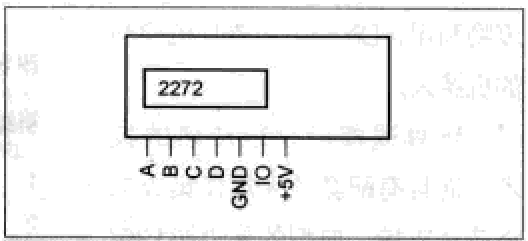


图21 接收电路的引脚

我们选用的是4通道遥控器，即发射器上有4个按钮，一般标为A、B、C、D。这4个按钮对应接收电路的4个引脚，如图 21所示。引脚A、B、C、D和IO平时为低电平，当你按下发射器的某个按钮（比如按钮A）时，则接收器的对应引脚（引脚A）变为高电平，同时IO也为高，而其他引脚不变。如此，我们的软件编程思路也就有了。我们可以利用引脚IO产生

图19 汽车遥控钥匙

图20 汽车遥控钥匙接收器

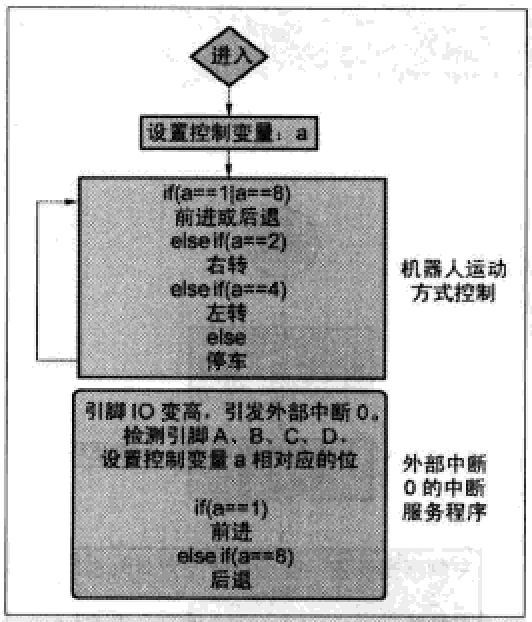


图22 软件流程图

外部中断，然后检测A、B、C、D引脚的状态，进而控制机器人小车的运动，流程如图22所示。

硬件连接非常简单。我在实验中定义A为前进，D为后退，B为左转，C为右转，用端口PORTC的0、1、2、3引脚分别接接收板的A、B、C、D引脚，引脚IO接PORTD的第2引脚，即中断0的引脚，设置中断0上升沿引发中断即可。

实践证明，该方案在近距离、小场地的环境下可以实现满意的遥控效果，而且设备购置的费用低廉，很适合入门级的普及活动。问题是车控锁的接收板对电压要求较高，如果供电电压低于5V，其灵敏度会大大下降。另外，其接收天线的长度要在23~25cm之间，以保证与316AM波的最佳谐振。接下来，我们组织一场机器人足球比赛吧！上场选手需准备至少两套不同编码设置的遥控套件，这样就不会互相干扰，剩下的就看你的了。

应用案例5 用玩具遥控器遥控机器人

笔者实验的另一个遥控方案是将遥控玩具车的遥控设备移植到机器人小车上。很多朋友都可能有玩腻或玩坏的玩具遥控车，与其塞在角落里，不如来个废物利用，DIY一个用单片机控制的机器人。

玩具遥控已是很成熟的技术，而且有配套的大规模集成电路芯片支持。典型的是SM6135/SM6136，支持5个控制键，控制遥控车的前进、后退、左转、右转和加速。其所用频率为128kHz，工作电压范围在2.4~5V，功耗低，所需外围元件极少。其中SM6136为发射芯片，SM6135为接收芯片。我们无需改造发射器，只要对接收器稍作改动，焊几根引线，引线另一端压杜邦头即可。需焊接引线的引脚与麦克鼠平台上的引脚对应关系如附表所示。

实践证明，玩具遥控器的性能比汽车遥控钥匙更好，只是拿到接收器板子后要做一些接线工作。如果是从旧玩具中拆出来的，就要考虑其安装、固定问题。

附表 SM6135芯片引脚定义与改装方案

引脚	名称	引脚功能解释	焊线引脚	单片机引脚
1	VO2	非门2输出脚		
2	GND	电源地	✓	GND
3	SI	编码信号输入脚		
4	OSCI	振荡输入脚		
5	OSCO	振荡输出脚		
6	RIGHT	右转向输出脚	✓	PORTC.2
7	LEFT	左转向输出脚	✓	PORTC.1
8	RDB	当该引脚接地时右转向功能失效		
9	LDB	当该引脚接地时左转向功能失效		
10	BACKWARD	后退输出脚	✓	PORTC.3
11	FORWARD	前进输出脚	✓	PORTC.0
12	TURBO	加速输出脚		
13	VDD	电源	✓	VCC
14	VI1	非门1输入脚		
15	VO1	非门1输出脚		
16	VI2	非门2输入脚		

整车调试步骤

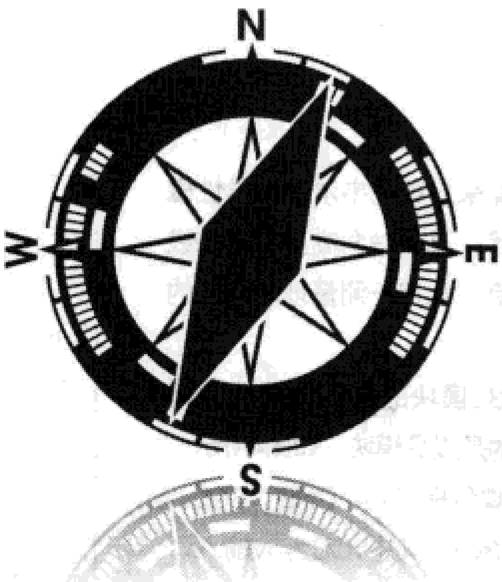
细心的读者可能会发现我在文中有关方向的描述似乎是矛盾的，比如对遥控车芯片SM6135的使用，说明书中定义引脚6为右转，引脚7为左转，而我的程序中对其使用的定义则恰恰相反。其实这并不奇怪，因为方向的概念本身就是相对的，关键是场合。比如玩具车，其转向机构往往是采用一个单独的电机驱动扇形齿轮，带动连杆拨动两个前轮的角度实现转向，这与真车的转向原理非常相似。问题是，当轮子向某个方向转动的时候，电机应该向哪个方向旋转呢？这要看传动机构的设计。所以电机的正反转是相对的，芯片的引脚定义也是相对的。

其实我们大可不必在这个问题上费神，只要遵循几个简单步骤即可将整车调顺。以玩具车改装成遥控机器人为例，第一步先调试前进与后退。拨动你的发射机的前进与后退手柄，如果机器人动作相反，将两个电机的引线都调换后插回去即可。如果是打转，则是某一侧电机的正反转反了，这时只调换一侧的电机引线即可。调整好前进与后退就可以调左右了。如果机器人不是按照你的定义转向，可调换芯片引脚与单片机的对应引脚，或是修改软件程序的参数即可。最后是调试速度达到一个满意的组合。

结束语

本文以麦克鼠单片机学习平台为载体，实验完成了5个常见机器人项目。通过实验证明，其机电性能相当不错，完全可以满足入门级机器人活动的需求。所有这些活动，除要求场地比较光滑外，无其他特殊要求。

基于HMC5883L的电子罗盘



◇蒋瑞挺

罗盘是自动控制、测试及测量领域中用来获取方向信息的装置。目前应用较广泛的是磁阻式电子罗盘，这种电子罗盘具有较好的抗振性，对干扰有电子补偿，因此测向精度较高。但现有电子罗盘电路结构复杂、体积较大，不便于携带和使用，难以集成到现有嵌入式设备中。针对这些问题，本文提出了以霍尼韦尔（HoneyWell）公司三轴磁阻传感器HMC5883L为敏感元件，使用低功耗控制器AVR单片机为传感器数据处理单元的小型低功耗电子罗盘。该罗盘支持串口输出，可以方便集成到各种应用中。

电子罗盘测向原理

地球的磁感应强度为50~60μT，相当于沿着地球中心的一个磁棒，磁棒的两极相对于地理的两极有大约11.5°的夹角。无论何地，地球磁场的水平分量永远指向磁北极，这一原理是所有罗盘的制作基础。所有罗盘都是测量地球磁场的北方向，其他方向即可推算出来。地球磁场的北方向和实际的北方向有差别，而这种差别的大小在地球上的不同地点也是不同的，所以必须知道罗盘所在的大致位置，才能计算出如何补偿地磁和真实北方向的差别，以显示出真实的北方向。

磁北的方向就是地磁场在水平面上分量的方向。假设电子罗盘处于水平面上，要确定其相对于磁北的航向角α。由磁阻传感器可以直接得出地磁场的水平分量H_x、H_y，因此相对于磁北的航向角为：$\beta = \arctan\frac{H_x}{H_y}$。

正切函数的周期为180°，为保证数据有效性，船体航向角α转换到相对磁北0°~360°的范围内。可将上式分解，得到相对于磁北极的360°范围内（顺时针方向）的航向角，加上当地的磁偏角就可以算出与真北的航向角。

由于地磁南北极与地理南北极存在磁

$$\alpha = \begin{cases} 0^\circ & H_y = 0, H_x > 0 \\ 180^\circ & H_y = 0, H_x < 0 \\ 90^\circ + \dfrac{\arctan(\frac{H_x}{H_y} \times 180^\circ)}{\pi} & H_y < 0 \\ 270^\circ + \dfrac{\arctan(\frac{H_x}{H_y} \times 180^\circ)}{\pi} & H_y > 0 \end{cases}$$

偏角，要得到准确的南北极方向，必须用计算结果加上或减去所在地区磁偏角，得出前进方向与地理北极的夹角，即真北方位角A。当所在地区磁偏角ϕ已知时，真北方位角为：$A = \alpha + \phi$。

硬件设计

电子罗盘的硬件系统如图1所示，主要由传感器、控制器、电源及串口输出4部分组成。控制器通过串口与PC通信，用于实现对电子罗盘的设置、校正以及测量数据输出。

◆控制器模块

控制器采用ATmega16，这是一款基于增强的AVR RISC结构的高性能、低功耗8位MCU，工作电压为2.7~5.5V，在1MHz 时钟下，工作电流为1.1mA。大多数指令可以单时钟周期执行，具有统一的中断管理，片上外围模块丰富，片内有16KB的Flash、1KB的RAM、512字节的EEPROM、8路的10 位A/D 转换器以及一路USART 通信端口等资源。在本设计中，控制器串口与PC连接，可以对电子罗盘进行配置及校正，也可以将最终计算得到的方向及角度通过串口输出，供其他测量系统使用。控制器模块在ATmega16的基础上，做了最小系统的扩展，如图2所示。按照模块化设计思想，本文将最小系统制作成单独模块，其最终实物如图3所示。

◆HMC5883L模块

HMC5883L是一种基于表面贴装的高集成、自带数字接口的弱磁传感器，应用于低成本罗盘和磁场检测领域。HMC5883L包括最先进的高分辨率HMC118X系列磁阻传感器，并附带霍尼韦尔专利的集成电路，包括放大器、自动消磁驱动器、偏差校准、能使罗盘精度控制在1°~2°的12位模数转换器以及简易的I²C总线接口。

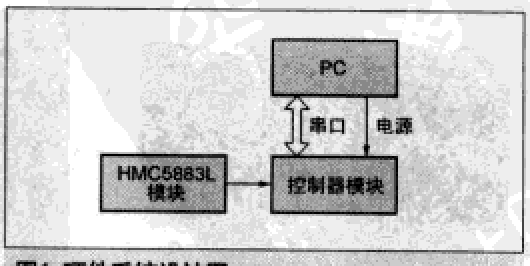


图1 硬件系统设计图

HMC5883L采用霍尼韦尔各向异性磁阻（AMR）技术，具有轴向高灵敏度和线性高精度的特点，能用于测量地球磁场的方向和大小。

HMC5883L模块的外围电路非常简单，本文采用的是成品模块，如图4所示。该模块外接引脚包括VCC、GND、SCL、SDA、DRDY、3V3。其中VCC为5V输入，模块自带降压功能，可以输出3.3V电压供其他模块使用。SCL与SDA为标准I²C接口，DRDY用于指示HMC5883L数据是否准备好，用于中断方式读取测量数据。

◆ 串口模块

与PC通信的串口模块采用的是USB转串口方式，同样采用成品模块，如图5所示。该模块使用PL2303HX芯片实现USB转串口功能，具有电路简单、传输速度快等特点。模块引出的功能引脚包括TXD、RXD、GND、3V3、5V。其中5V为USB总线输出电压，本文将该电压作为下位机的供电电压。TXD与RXD为串口接口，与单片机直接连接，无需做电平转换。模块内部同时集成了降压模块，可以输出3.3V电压，但由于已经使用了HMC5883L模块的降压功能，本系统中该输出引脚悬空。

◆ 底板模块

各模块之间需要通过底板进行连接，其原理图如图6所示。其中与HMC5883L模块的I²C接口使用的是ATmega16的硬件接口，因此需要连接PC0与PC1端口，DRDY则与PD7端口连接。串口模块与单片机的硬件串口端口PD0、PD1连接，总体连接相对简单。将各个模块通过插座、插针以及连接线连接，设备最终的样子如图7所示。

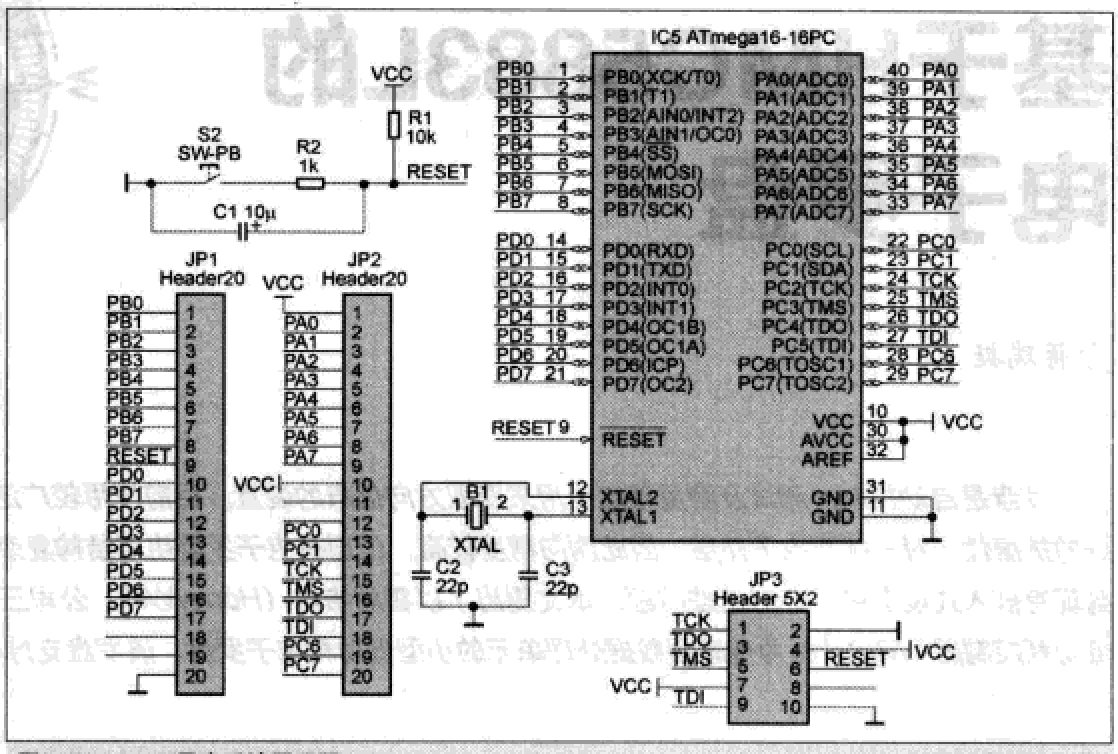


图2 ATmega16最小系统原理图

软件设计

电子罗盘的软件分为两部分：单片机上的软件以及PC端的控制软件。平时工作时，只需运行单片机上的程序，PC端软件仅显示当前数据。当需要配置或者校正时，要配合PC端软件使用。

单片机的软件流程如图8所示。参数保存在单片机的EEPROM中，掉电后仍然可以保存。

PC机与单片机进行串口连接，平时工作时，单片机工作在正常模式，PC端软件通过串口查询当前方位角并显示在界面上。当需要配置电子罗盘时，可以通过PC端软件设置磁偏角，参数都会保存在单片机的EEPROM中，罗盘重启后还按之前的设置参数运行。当需要对罗盘进行校正时，通过PC端软件启动校正流程。用户需要在水平面上缓慢旋转罗盘360°，然后通过PC端软件告知罗盘结束校正，此时罗盘会自动计算出X、Y轴的偏移值并保存，同时PC端软件上会显示这些偏移值。

PC端软件采用Visual C++ 2005编写，基于MFC框架开发，软件流程如图9所示。软件框架采用的是查询方式，由PC控制软件作为主动方，发送串口命令到单片机，单片机则作为被动方，将结果返回给PC控制软件。

通过界面上的按钮，用户可以设置电子罗盘、进行校正，并看到当前方位角的显示，界面如图10所示。使用时，先将单片机与PC串口连接，然后打开对应的串口号，此时即可以看到当前方位角显示在偏角栏里。如果需要设置磁偏角，只需将数值写入对话框，并点击“设置”按

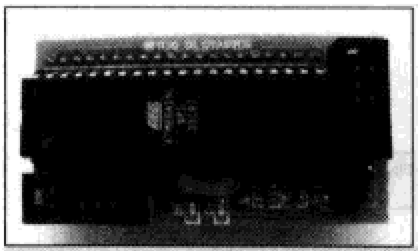


图3 ATmega16最小系统实物图

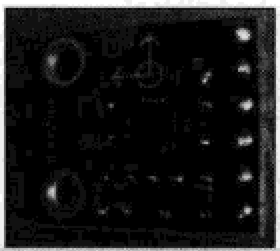


图4 HMC5883L模块

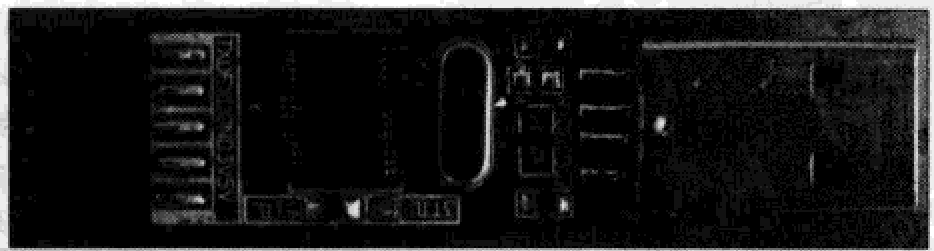


图5 串口模块

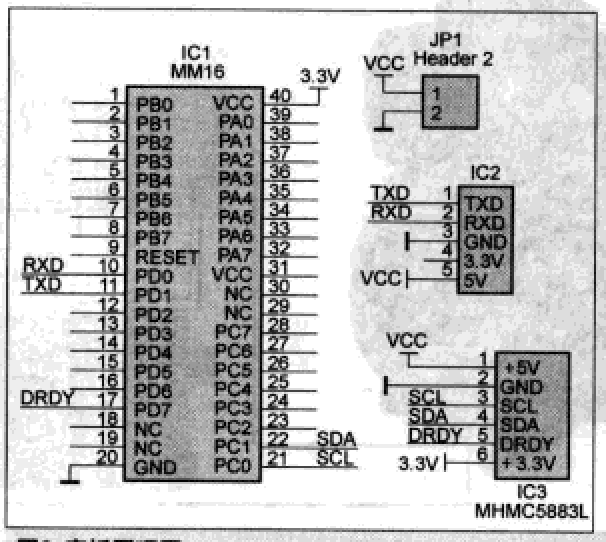


图6 底板原理图

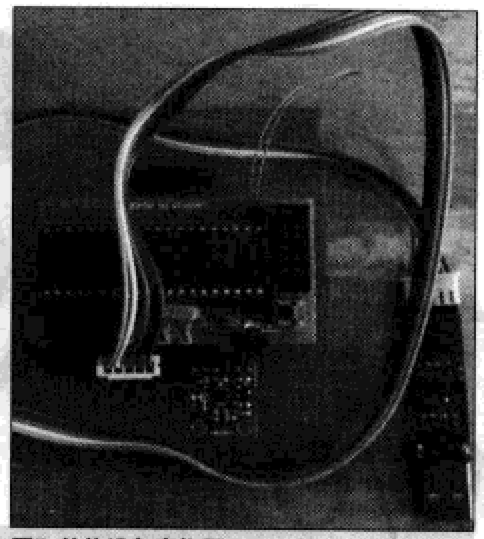


图7 总体设备实物图

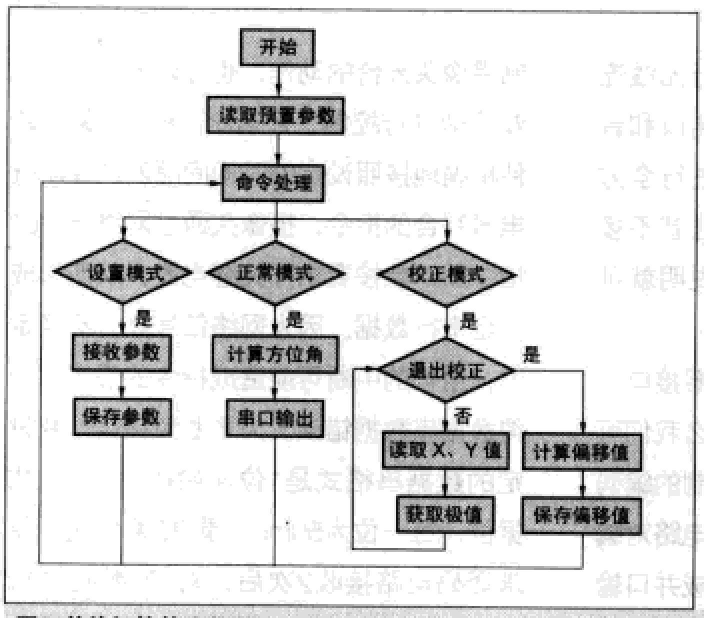


图8 单片机软件流程图

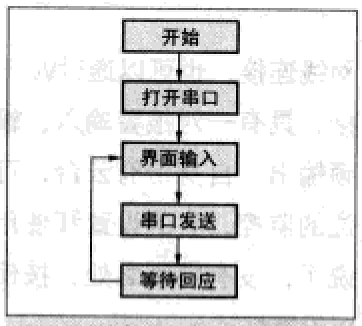


图9 PC端软件流程图

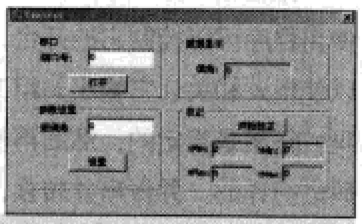


图10 PC端软件界面

钮即可。校正功能相对比较复杂，在点击“开始校正”后，需要手动旋转电子罗盘360°，然后再点击“结束校正”，最大、最小偏移值即会显示在界面上。

罗盘误差及补偿

造成罗盘误差的主要因素有传感器误差、其他磁材料干扰等。为了校准传感器放大电路，HMC5883 内部集成了自测试电路，可以驱动偏置电流带产生一定大小的测试磁场，以校准传感器各轴灵敏度。自测试还可以校准温度变化产生的漂移。当磁阻传感器处于较强干扰磁场中时，传感器灵敏度会下降甚至失效。为了消除这种影响，需要复位/置位电路施加脉冲宽度为2μs、电流强度为3~4A的电流，使传感器特性恢复。在目前应用较为广泛的HMC1022及HMC1022 模拟输出磁阻传感器中，复位/置位电路需要额外设计并由控制器控制，而HMC5883 芯片内部集成了生成复位/置位脉冲所需的驱动电路，且由片上ASIC电路自动控制，在每次测量前自动进行复位/置位操作，不仅保证了传感器精度，也使传感器应用电路大为简化。

除了传感器本身的误差，磁阻传感器应用环境中的磁介质引起的磁场变化也会使电子罗盘精度降低。磁场干扰分硬磁干扰和软干扰两类。硬磁干扰是传感器附近的永磁体或被磁化的金属造成的，它对磁阻传感器输出的影响是固定的，使输出曲线图圆心偏移，如图11（b）所示。而软磁干扰则是地球磁场和传感器附近磁性材料的相互作用造成的，其干扰具有方向性，如图11（c）所示。

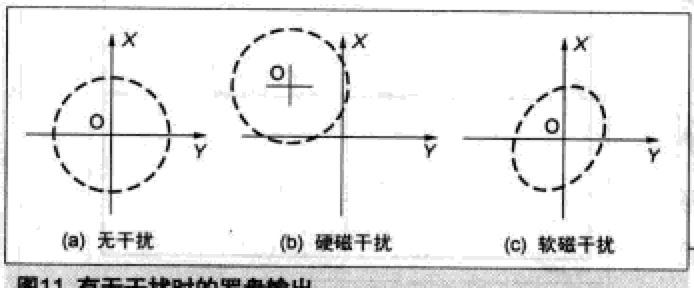


图11 有无干扰时的罗盘输出

为了校正X、Y轴方向的硬磁干扰，需要在校准模式中绕Z轴缓缓旋转罗盘一周，在旋转过程中，罗盘不断采集X、Y轴的磁场强度数据，最终找出数据的最大值X_{max}、Y_{max}和最小值X_{min}、Y_{min}。对于Z轴的校准，需要绕X轴或Y轴旋转一周，找出Z轴数据的最大值Z_{max}、最小值Z_{min}。校准偏移量为：

$$\begin{cases} X_{offset} = (X_{max} + X_{min})/2 \\ Y_{offset} = (Y_{max} + Y_{min})/2 \\ Z_{offset} = (Z_{max} + Z_{min})/2 \end{cases}$$

将偏移量保存到控制器的EEPROM存储器中，在以后的每次测量中，将每轴的磁场强度减去对应的偏移量，即可校准硬磁干扰。消除软磁干扰的补偿算法较为复杂，在低成本的控制器上不易实现且效果有限，因此在本设计中选用了优化磁阻传感器安装位置的方法，以降低其他磁性材料对地磁场的干扰，保证罗盘精度。

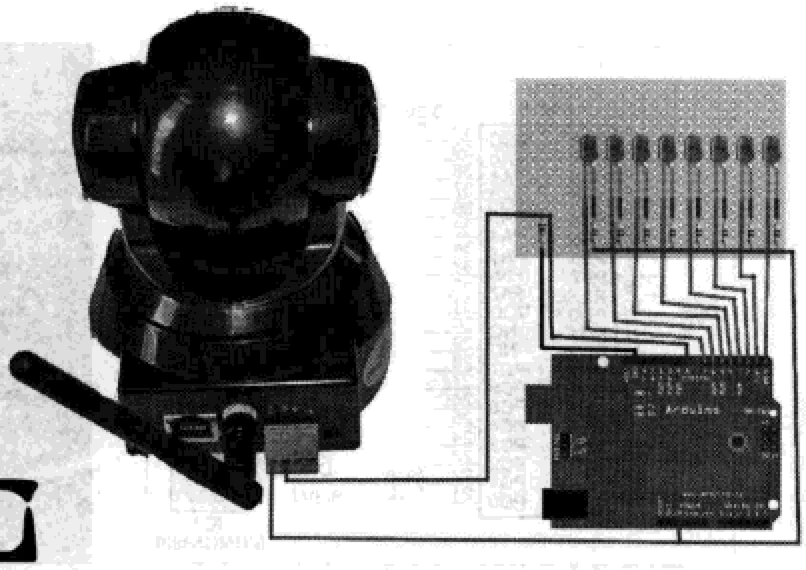
总结

本文依据磁罗盘测向原理，设计了具有倾斜补偿功能的小体积、低功耗数字罗盘。该罗盘采用数字磁阻传感器HMC5883L及超低功耗处理器ATmega16L，具有电路结构简单、集成度高、抗干扰能力强等优点。实验证明，经算法补偿后，该电子罗盘精度可以达到±1°。由于硬件成本低、功耗小，它也适用于便携导航、小型飞行器控制，以及用于其他需要测量倾角和方位角的场合。Ⓦ

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

◇温正伟

用Arduino扩展网络摄像头的I/O端口



如今网络已极为普及了，几乎家家都安装了宽带，手机也可以上网，而且带宽水平也越来越高，网络摄像头也因此越来越受人青睐。如今的网络摄像头，通过网络可以向使用者传输视频、音频，支持多种的平台，如网页访问、智能手机访问，还有移动侦测报警、监控录像或云台控制等功能。而且不光有有线连接的，还有Wi-Fi连接的，安装和使用极为方便，价格也很便宜，所以在家居、办公等环境下的安防布置中得到了广泛的使用。

一个朋友的小作坊也安装了几个网络摄像头，用于查看机器工作情况和安防。有一天他来找我，说他安装的无线网络摄像头上有个报警器输出I/O口，可以使用程序控制，还说要是多几个I/O输出就好了，这样可以用来远程控制一些设备。其实许多中低档的网络摄像头都有一个报警输出I/O口和一个报警输入I/O口，有些还带能输出PTZ（云台全方位控制）协议的串行端口，有少数产品还配有独立的串行端口，可以传输数据。那么只有一个输出端口，如何来控制多个开关量呢？下面说明一下我所设计的一种解决方案。

方案设计

笔者使用的是国产某品牌的网络摄像头，型号是HS-733，外形小巧，看起来像个可爱的机器人。它除了可以使用网线连接，也可以通过Wi-Fi进行无线连接，具有一对报警输入、输出端口和音频输出，自身带有云台，可以进行全方位的监控。它的设置和使用方法就不多说了，没有特别之处，按使用说明就可以设置好了。

报警输出是一个常开的继电器接口，使用程序可以控制它的开合，那么我们可以使用开和关让它输出一组二进制的编码吗？答案是肯定的。然后再使用电路对编码进行译码，并做串并转换，转成并口输出。读者朋友这时应该会想到通常串并转换电路有时钟和数据2个信号，缺一不可，只有一个端口如何做呢？其实只要数据线上的数据严格遵循时序要求，每个数据时序都有一样的时间间隔，就可以做到单线串行传输。

为了在网络摄像头的报警输出端口产生串行数据，我使用厂家提供的OCX控件，并用Delphi编写了一个软件对其功能函数进行调用，使得软件可以在界面上控制摄像头云台的动作，也可以连接USB游戏手柄进行控制。还有8个虚拟开关用软件精确地按照设定的时间间隔发送控制继电器开合的指令，摄像头通过网络接收到指令后，就按要求开关继电器，从而形成一组串行数据。因为网络信号具有不确定性，信号的中断可能造成指令的丢失，使得数据串数据错误。为了避免错误，我设定的数据串格式是1位起始码后跟8位数据位，每一位为50ms，重复2遍发送，要求译码电路接收2次后，对2次数据进行对比，相等时才认为传输是正确的。输出二进制数据时的示波器显示的波形如图1所示。

硬件连接

译码电路我选用了Arduino UNO，对于这样的简单任务，Arduino是一个很好的选择，编程方便快捷，调试也方便。电路的连接方式极为简单，如题图所示，只要将摄像头输出的信号接入到Arduino的8号

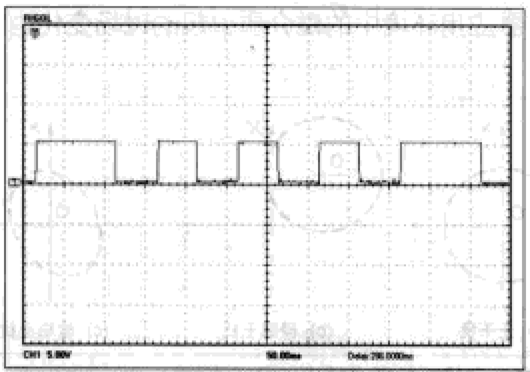


图1 输出二进制数据时的示波器显示的波形

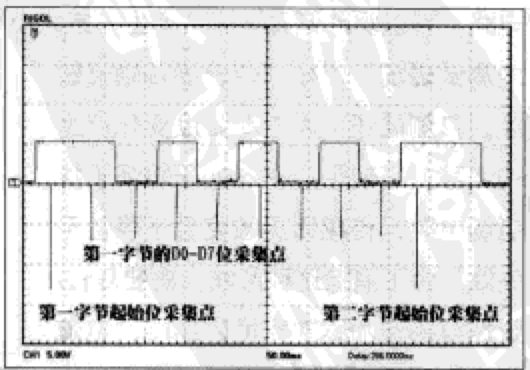


图2 采集数据示意图

端口即可，而0~7号端口则是输出端口。为了方便测试，我在0~7号端口上连接了8个LED，限流电阻选用470Ω。0~7号端口对应电脑软件上的虚拟开关，虚拟开关打开或关闭时，相对应的Arduino端口就处在低电平或高电平，虚拟开关可以直接在软件界面上点击控制，也可以连接游戏手柄，用手柄上的按键进行控制。实际使用时，可以在输出端口上连接继电器控制电路或其他控制电路，实现具体的控制。

根据编码规则，Arduino解码程序的流程可以这样走：先判断8号端口电平是否为高，如果不为高，则是摄像头上的继电器没有闭合，如果为高，则说明继电器动作了，首先输出的是起始位，延时25ms，确认起始位后，进入存储数据位的代码段，因为每个位为50ms，所以每隔50ms采集一下，采集点正好位于方波的中心（见图2）。经过8次采集，把数据移入一个字节的变量中，再进行第二次采集，并把数据移入另一个变量。当2个变量的值相同时，说明数据接收正确。在这里只是使用了简单的校验方法，如果需要更加保险，可以再加个校验字节，或者让第二个字节为第一个字节的反码。最后就是把接收下来的数据反映到0~7号端口进行输出。

PC端软件

PC端软件的使用方法很简单，先执行压缩包里的OCX_install.exe，安装摄像头的控件，该控件只适用于HS-733系列

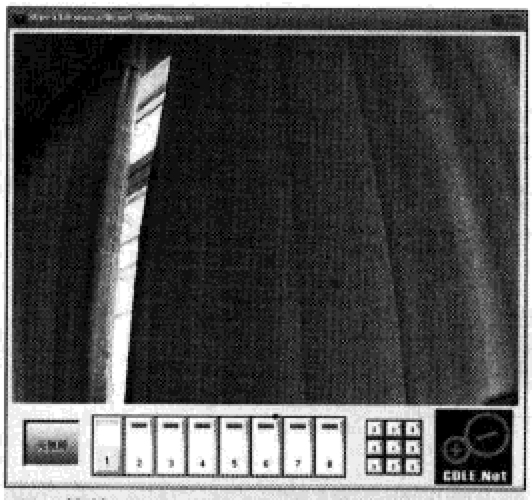


图3 软件界面

的摄像头，别的摄像头笔者没有测试过。然后运行Goto_Joystick.exe，会在程序所在目录生成setup.ini。关闭程序，用记事本打开setup.ini文件，修改里面的IPCAM_Info项目的前4项值，分别是网络摄像头的IP地址、端口号、用户名以及密码。再次打开Goto_Joystick.exe，就可以连接摄像头进行控制了，界面如图3所示。

测试时的情景如图4所示，这个制作还可以加入电机、电池、轮子，制作成时下流行的Wi-Fi智能小车，欢迎读者朋友对不足之处提出意见。

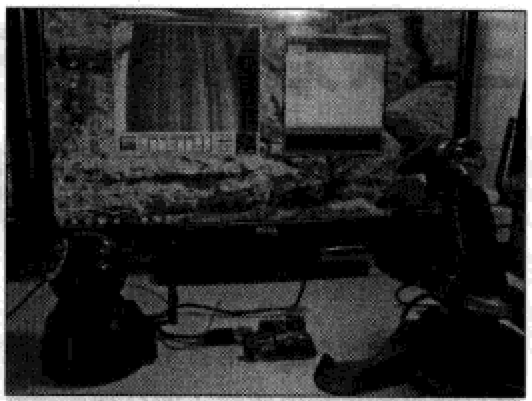


图4 测试摄像头

演示视频：http://www.cdle.net/thread-48471-1-1.html。

也可以用手机扫描二维码快速进入地址。

Arduino代码

```
void setup()
{
  pinMode(8,INPUT);//端口设置8号为输入
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(0, OUTPUT);
  pinMode(1, OUTPUT);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
}
void loop()
{
  byte val[2];
  byte tempa, tempb;
  val[0]= 0x00;//初始化2变量让其为反码
  val[1] = 0xFF;
  if (digitalRead(8) == HIGH)//为高时进入采集循环
  {
   for (tempa=0; tempa<2; tempa++)//2字节采集
   {
    delay(25);
    if (digitalRead(8) == HIGH) //起始位确认
    {
     for (tempb=0; tempb<8; tempb++) //D0-D7位
      {
       val[tempa] = val[tempa]>>1;
       delay(50);
       if (digitalRead(8) == HIGH)
       val[tempa]=val[tempa]| 0x80;
       else
       val[tempa]=val[tempa]&0x7F;
      }
     delay(25);
    }
    else
    {
     val[0] = 0x00; //起始位不确认时初始变量
     val[1] = 0xFF;
    }
   }
  delay(50);
  if (val[0] == val[1]) //判断2次数据变量是否相同，相同则在0-7号端口输出
  {
   for (tempb=0; tempb<8; tempb++)
   {
    if (val[0]&0x01)
    digitalWrite(tempb, LOW);
    else
    digitalWrite(tempb, HIGH);
    val[0] = val[0] >> 1;
   }
  }
 }
}
```

三款分立元件设计的D类功放的制作比较

◇任杰

过去的两年里，笔者用过不同厂家的IC制作过多款不同的D类功放，但是总感觉制作的过程过于顺利，缺乏难度与挑战。并且这类制作的电路核心部分都集成在IC内部，外围电路相对来说比较简单，制作的过程中不能深刻理解电路的工作原理。因此，在最近一段时间，我搜集了网上一些分立元件设计的D类功放电路，通过仿真或者试验的方法对其进行了一定了解，并得到了一些经验和感想，写下了这篇文章。

在功率放大电路中，我们根据功率管（双极性三极管、MOS场效应管或者电子管）的导通角将功放分为A类、AB类、B类、C类、D类（又叫甲类、甲乙类、乙类、丙类、丁类）等工作状态，其中C类为谐振式的窄带放大器，一般用于高频功放，不适合频率跨度很大的音频功放。

A类功放给了功率管一个比较大的直流偏置，对于一个正弦信号，A类功放的功率管在整个周期内都处于放大状态，理论上来说，理想的A类功放是没有失真的。但是不管是否有信号输入，A类功放都要消耗较大的直流功率。因此，A类功放的效率极低，一般的实际效率在10%～20%。

B类功放通常采用推挽输出的形式，上、下两个功率管轮流导通。理论上说这种方式在没有信号输入时是不消耗能量的，最高效率可以达到78.5%。但是，由于PN结固有的死区电压，纯B类功放存在交越失真的问题，因此实际的音频功放中，需要给B类功放加上一定的直流偏置，使得输入信号小于死区电压时，上、下两管同时导通，用来消除失真，这就是我们最常见的AB类功放。AB类功放较纯A类功放效率有所提高，一般实际效率在40%～50%。

在技术指标上，A类和AB类功放作为音频功放已经做得近乎完美了，但是从能耗的角度来说，这种低效率的模式在一些特定场合是难以胜任的，例如电池供电的便携式设备，为了延长工作时间，对效率提出了苛刻的要求。又如一些超大功率的扩音设备，庞大笨重的散热器和电源变得难以接受。实际的需求，促使了D类功放的诞生。

传统D类功放最基本的思路是要首先得到一个受正弦波调制的PWM波，对这个PWM波进行放大后，再经过低通滤波器还原成正弦波。那么，这里需要放大的信号已经不再是正弦信号，而是PWM信号，功率管所需要做的仅仅相当于一个开关。功率管关断状态，功耗可以忽

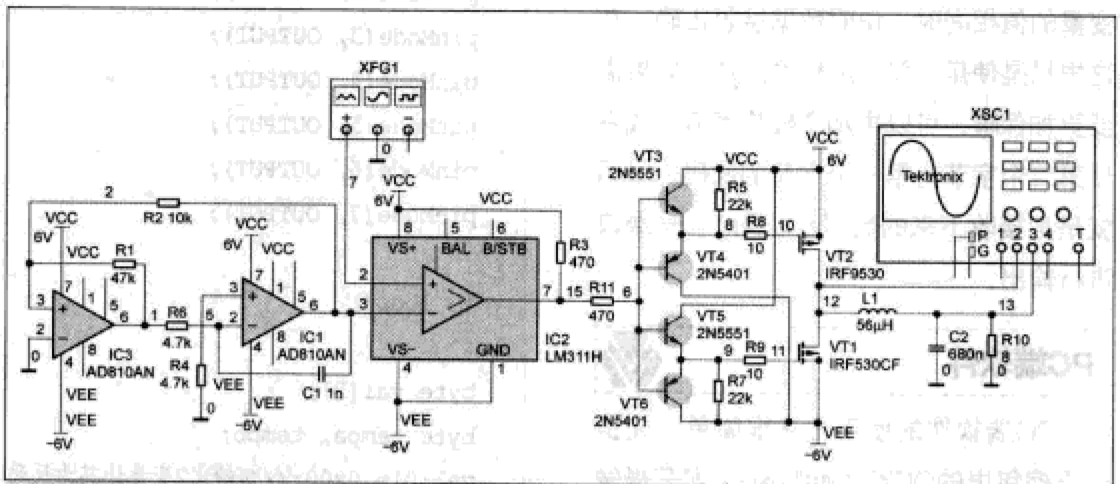


图1 简易的D类功放仿真电路

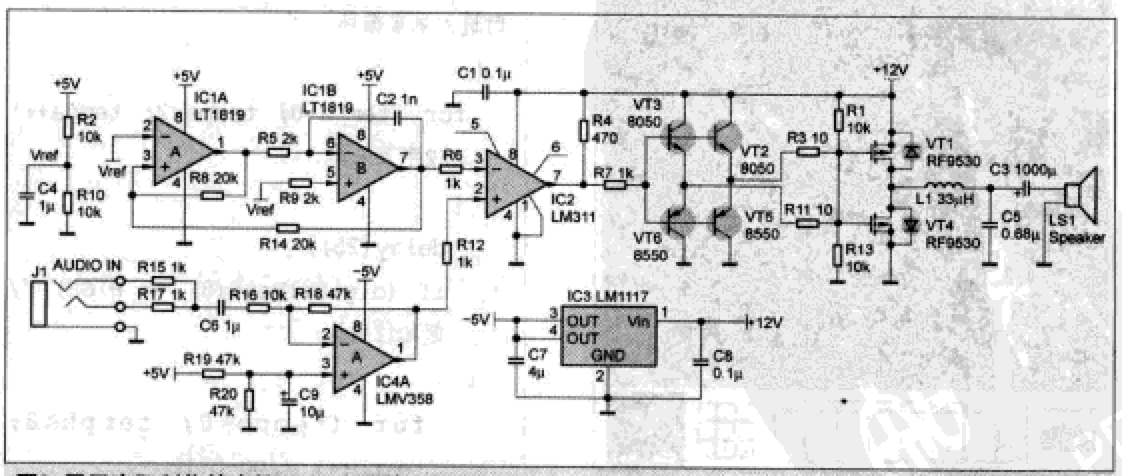


图3 用于实际制作的直接PWM方式的D类功放电路图

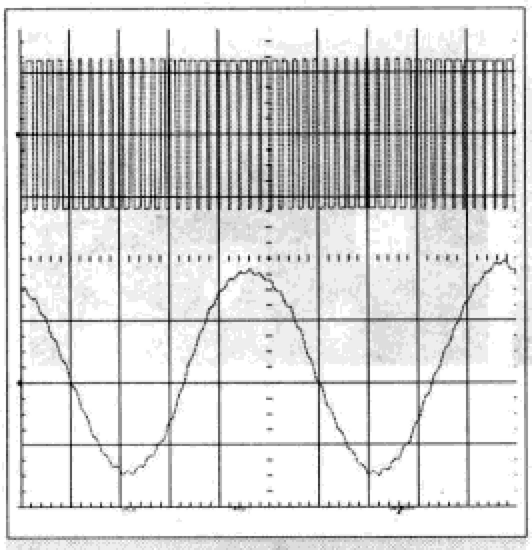


图2 输入10kHz正弦波的输出波形仿真

略，而开启状态，即使流过了较大的电流，但是管上的压降很低，因此功耗很小，这就是D类功放高效的原因。当然这里仅仅考虑了功率管的导通损耗，实际上功率管作为开关时，还有其他形式的损耗。

第1款 直接脉宽调制的D类功放

按照上述的原理，我们可以搭建如图1所示的仿真电路。根据模拟电路基础知识，图中的IC3和IC1构成了三角波产生电路，产生的三角波频率为：

$$f=R1/(4\times R2\times R6\times C1)$$

这里的取值约为250kHz。三角波和正弦波通过比较器产生的PWM波推动后级的功率开关电路，得到经过放大的PWM信号，最后经过低通滤波后恢复成为正弦波。图2给出的是输出的波形仿真，输入的为10kHz/1Vpp的正弦信号。

笔者经过试验验证这个电路是可以使用的，实际的制作中为了简化电源的设计，电路略有调整，用于制作的电路图如图8所示。由于电路没有对MOSFET设置死区，为了减小MOSFET的开关损耗，这里将调制频率降到了100kHz左右。电路的波形产生部分和音频放大部分采用+5V单电源供电，那么对于产生的三角波和被放大的音频信号，需要有一个相同的参考电位，为了使得信号幅值最大化，选取

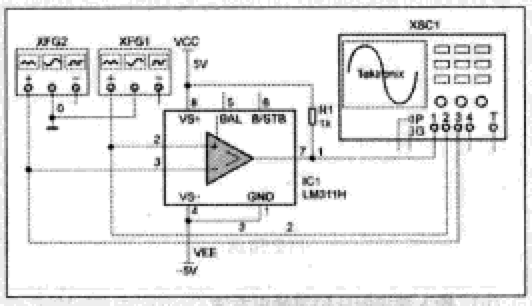
PWM信号产生的软件仿真实验

TIPS

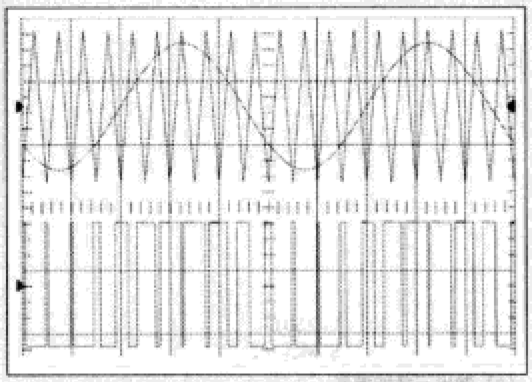
为了了解D类功放的工作原理，我们首先看一下产生PWM最直接的方法。在Multisim里面作如图A所示的仿真电路。其中XFG1输入10kHz/1Vpp的正弦波，XFG2输入100kHz/1.2Vpp的三角波，那么可以观察到输入/输出的波形如图B所示。可以看到，正弦波的幅度大于三角波幅度时，输出高电平，当正弦波幅度小于三角波幅度时，输出低电平。按照刚才的设置，一个周期的正弦波对应10个周期的PWM波。

接着我们在Multisim下搭建如图C所示的仿真电路，即在上面仿真的基础上加上一级由运放构成的低通滤波器，这个低通滤波器的3dB截止频率约25kHz。图B中所示的PWM经过低通滤波器后得到如图D上方所示的波形。不难看出，PWM波经过低通滤波器后得到的波形与输入正弦波相似，但是高频分量比较严重，失真明显。如果我们将三角波的频率提高到300kHz，那么得到如图E所示的波形，此时的失真就变得相当低了。

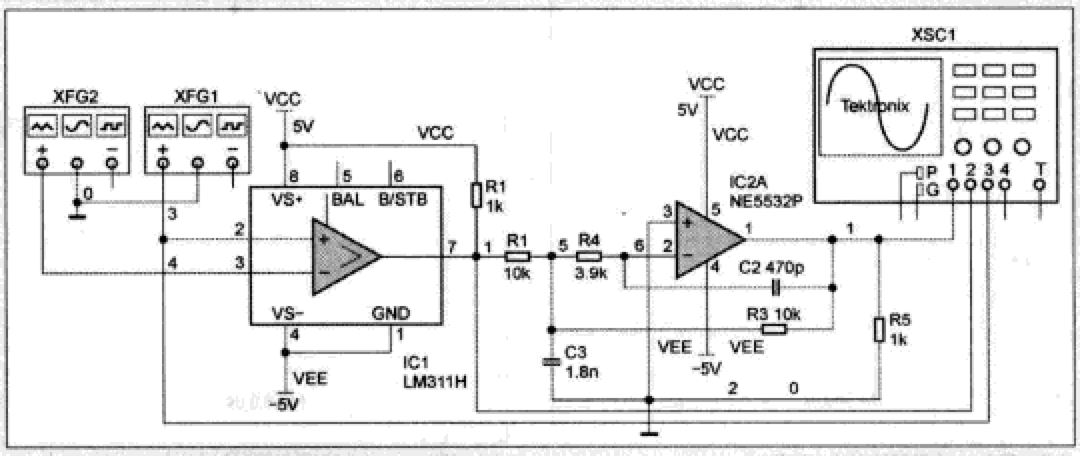
上面的仿真说明，受正弦波调制的PWM波，经过低通滤波后能够还原成原来的正弦波，对于正弦波频率和低通滤波器截止频率一定的条件下，PWM波的频率越高，还原出来的正弦波失真越小。



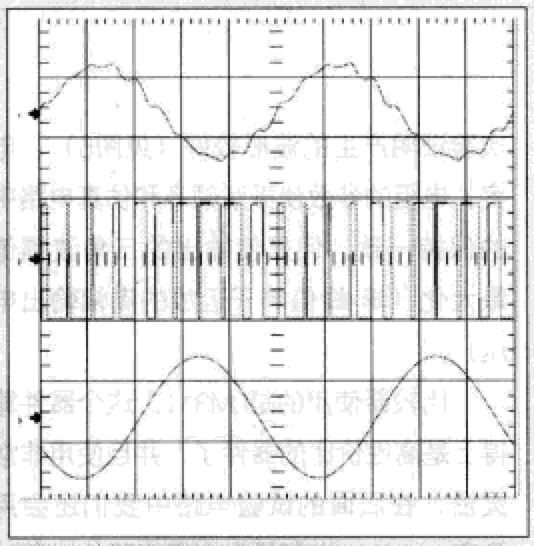
图A PWM产生方法



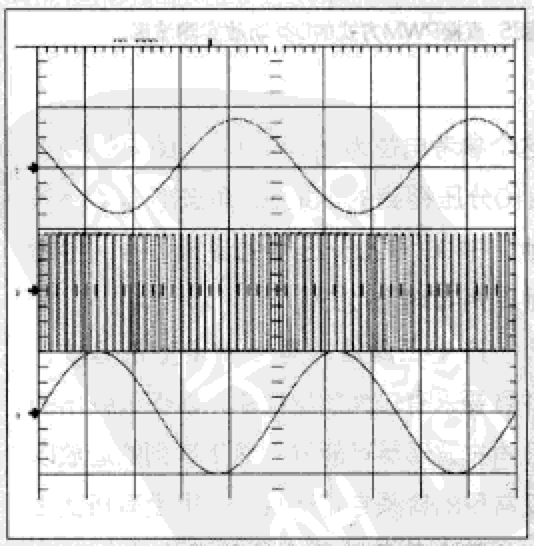
图B 受正弦调制的PWM波形



图C PWM还原成正弦信号的仿真电路



图D PWM还原成正弦后与输入正弦波的比较（100kHz三角波）



图E PWM还原成正弦后与输入正弦波的比较（300kHz三角波）

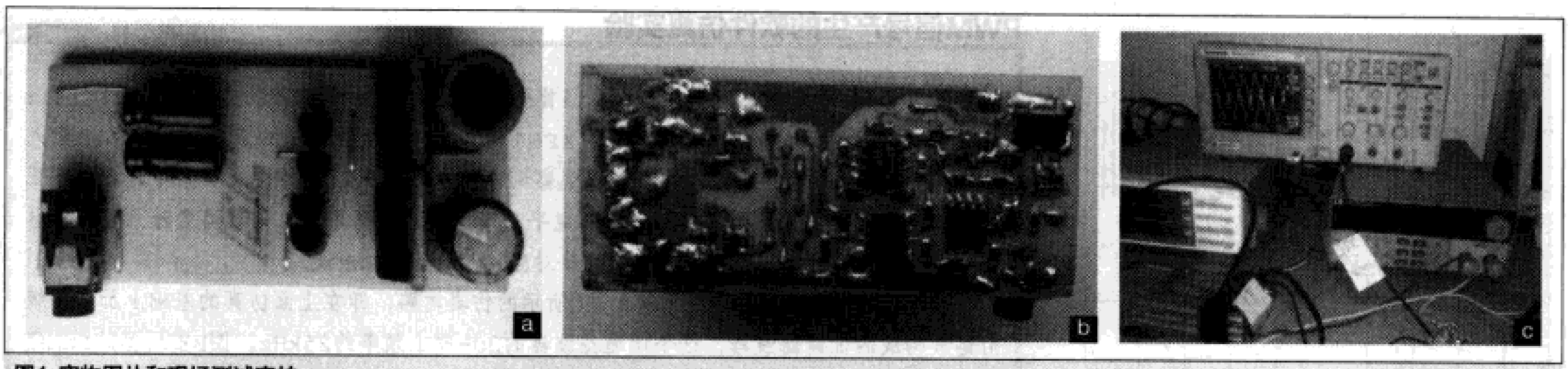
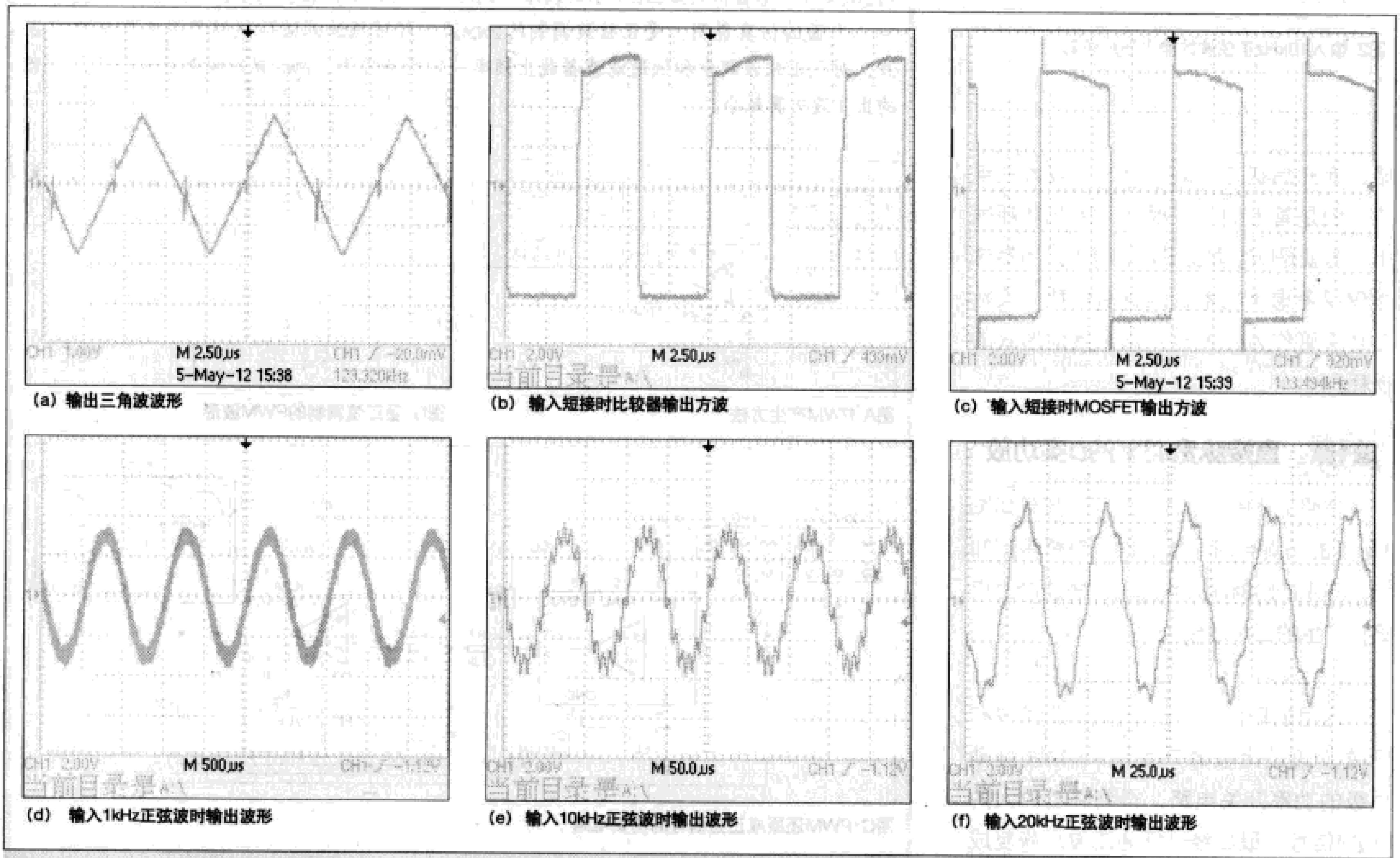


图4 实物图片和现场测试实拍



(a) 输出三角波波形
(b) 输入短接时比较器输出方波
(c) 输入短接时MOSFET输出方波
(d) 输入1kHz正弦波时输出波形
(e) 输入10kHz正弦波时输出波形
(f) 输入20kHz正弦波时输出波形

图5 直接PWM方式的D类功放实测波形

这个参考电位为+5V的中点。图中的R2、R10分压得到的Vref为三角波信号的参考地，R19、R20分压得到音频信号的参考地，两者均为+2.5V。

产生三角波，需要使用宽带运放，并且要求有较大的压摆率，以保证输出的三角波波形尽可能好，通用系列的运放以及常用的音频专用运放在这里没有用武之地。图中使用的是凌特公司的LT1819，增益带宽积400MHz，压摆率2500V/μs，实验证明产生的波形较好（见图5）。电容、电阻的参数使振荡频率和仿真电路中的保持一致，但是使输出的三角波幅值最大化（峰-峰值等于运放的满幅输出电压）。

比较器使用的是LM311，这个器件算得上是高性价比的器件了，并且使用非常灵活，在后面的试验电路中我们还会用到它。LM311内部是集电极开路的，所以输出时需要加上拉电阻。1脚为输出参考电平设置端，连接在VEE上表示LM311输出低电平为VEE，如果连接到电路的GND端，则表示输出的低电平为GND。

末级的功率开关为一对互补的MOS管。我们知道，理想的功率MOS管只需要栅源之间的电压达到一定的差值即可导通，一般来说，在不超过栅源电压最大值的前提下，这个电压取值越大，MOSFET导通时的源漏间电阻越小。对于一般的功率MOSFET，栅源电压一般取为10V左右

（对P沟道MOS来说是-10V），而维持这个导通并不需要电流。但是，这里指的是理想静态情况，在高速开关状态下，由于MOS管的栅源、栅漏之间等效地存在一个较大的电容，所以开关过程中栅源电压的建立和消除，要完成的是对该电容的充放电，而充放电的时间与电流的大小呈相反关系，所以，在高速的开关状态下，MOS管需要能够提供足够大的电流的驱动电路。

图3所示的电路用的是简单的三极管推挽的方式来驱动MOS。比较器输出高电平时，两个NPN的三极管导通，MOS管VT2的栅极电容通过R8和VT3形成放电回路，VT1的栅极通过VT5和R9形成充电回路，由于充放电过程中的内阻很小，那么VT2和VT1管将分别迅速地进入截止和导通状态。

这种驱动方式虽然简单，但是严格限制了电源电压。上面提到过，对于一般的功率MOS管，为了保证可靠的导通，栅源电压一般为10V左右，并且为了防止栅极介电层的击穿，栅源电压有一个最大值限制，一般在20V左右。所以，对于图3的驱动方式，电源电压被束缚在10～20V。

最后完成的PCB如图4所示，采用感光法自制的电路板，制作完成到现在又半年了，铜箔看起来不再光洁。图5给出了一些测试波形。整个测试过程中，MOSFET在不加散热器的情况下，有明显的温升，但是还不至于烫手。

最后输入音乐信号试听一下。坦白地说，这时扬声器里发出的声音已经完全让人失去欣赏音乐的兴趣了。伴随音乐信号的还有持续的高频“吱吱”声，这可能是调制频率过低而滤波器的截止频率又偏高造成的，但是现有的结构上，无论是提高调制频率还是降低滤波器截止频率都是不明智的。因为前者会使得三角波波形变差，并且增加了比较器的负担和MOSFET的功耗，而后者使得高频分量进一步衰减，声音更加沉闷。

从上面的测试结果不难看出，对于这种简单的直接PWM调制方式，三角波的波形（包括线性度、对称性等指标）、频率成了影响PWM波形精确度也就是最终得到的正弦波失真度的最重要因素之一。为了实现全频下的低失真放大，调制频率需要做得很高，这对三角波的产生、比较器的翻转速率提出了苛刻的要求。分立器件的情况下，这种结构只适合实验，用来加强我们对D类功放的了解，并没有实用价值。另一个缺点是，这是一种开环的放大方式，不便于电压增益的控制。

第2款 555做脉宽调制的D类功放

555是绝大多数电子爱好者用过的IC，简单的一个8引脚IC可以衍生出几百种应用电路，而这个古老的器件同样也可以用到D类功放中。笔者根据网上的应用做了一些修正，最终确定了如图6所示的应用电路图。555的原理有很多相关的介绍，这里不再赘述。图中的555接成多谐振荡器，当5脚没有输入时，可以从3脚得到一个占空比的方波，为了确保这个占空比为50%，需要使得C5的充放电回路电阻大小一致，因此设置了R1用作微调。方波的频率由以下公式得到：

$$f=\frac{1.44}{R4 \cdot C5}$$

计算出f大小约为125kHz。这里需要注意，对于555而言，尽管能够输出300kHz以上的频率，但是用作D类功放的PWM波对波形要求比较严格，并且可能遇到占空比很窄的情况，超出555内部比较器和数字逻辑电路的处理能力，使得输出波形很差，所以100多千赫兹的取值在这里是比较适中的。

当这个多谐振荡器工作后，如果在5脚输入一个固定的电平信号，555内部两个比较器的参考电平将会变化，即原来2/3Vcc和1/3Vcc变为V5和V5/2（V5为5脚电平）。当然，这个前提是输入信号的内阻比较小，具体来说，内阻要远小于555内部3个分压电阻阻值（一般是5kΩ）。当比较器参考电平的变化时，输出方波的占空比也会变化。那么当这个输入信号为音频信号时，555参考电平在原来固定的2/3Vcc和1/3Vcc基础上叠加了一个交流信号，输出的方波占空比将会跟随音频信号幅度的变化而变化，也就是说，输出的方波变成了受5脚输入音频信号调制的PWM波。如果将这个PWM波经过低通滤波器还原，就可以和前面所讲的一样，得到音频信号。

由于555的输出驱动能力有限，直接还原的信号不足以驱动扬声器，所以后级增加了两级BJT构成的射极跟随器，提高电流驱动能力。另外，输入的音频信号

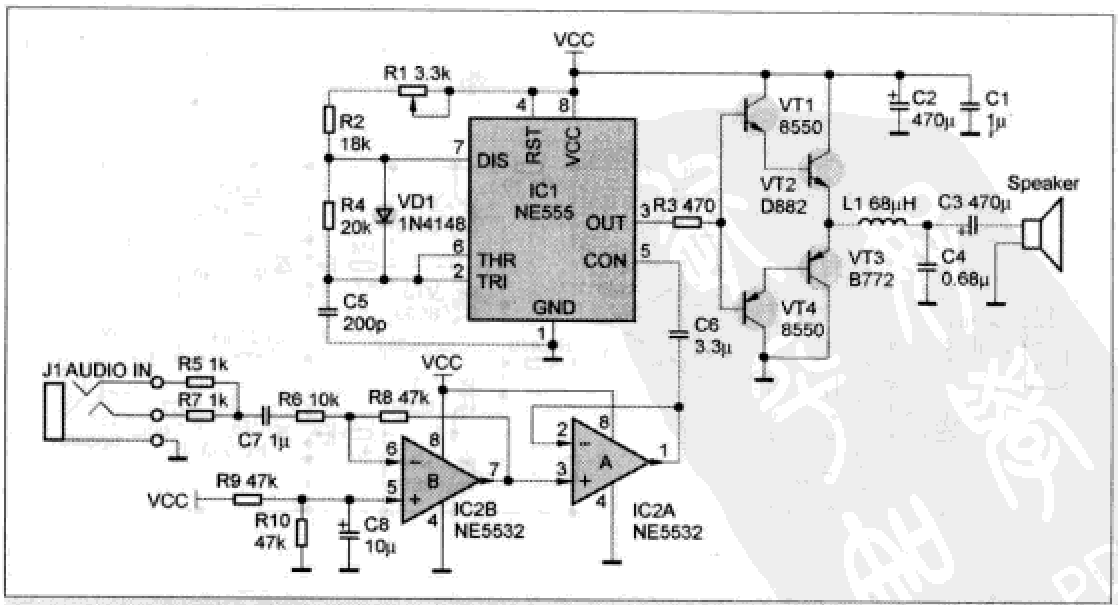


图6 用于实际制作的555做脉宽调制的D类功放电路图

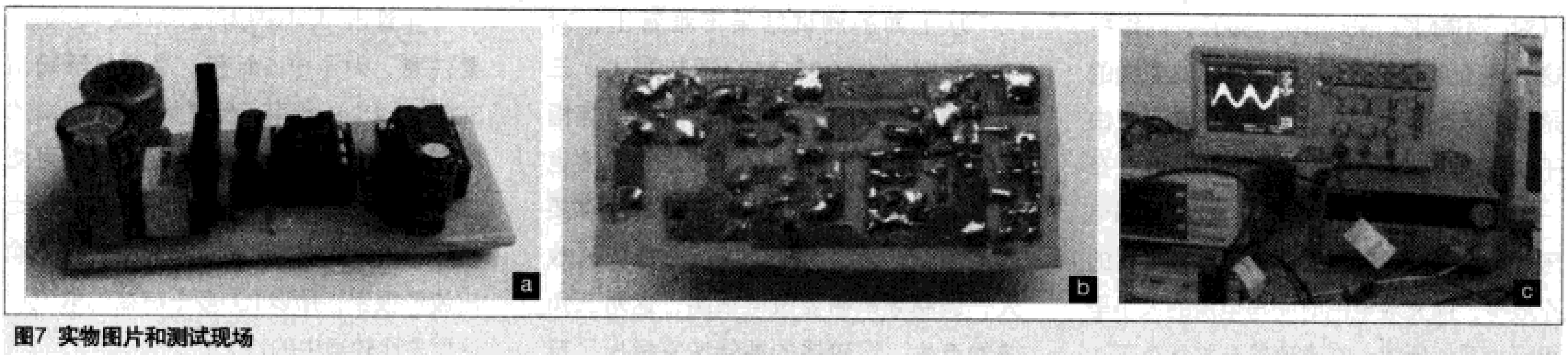
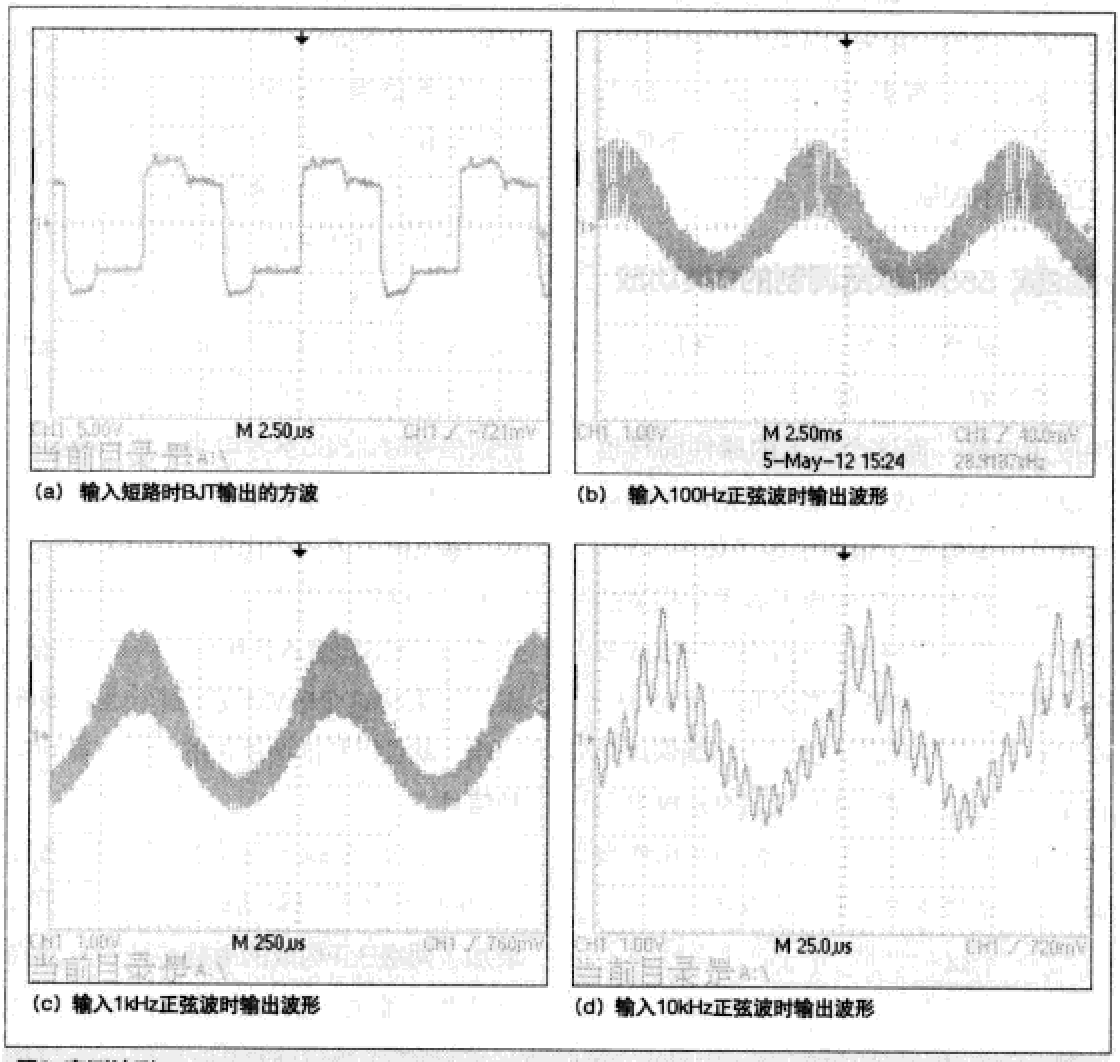


图7 实物图片和测试现场



(a) 输入短路时BJT输出的方波
(b) 输入100Hz正弦波时输出波形
(c) 输入1kHz正弦波时输出波形
(d) 输入10kHz正弦波时输出波形

图8 实测波形

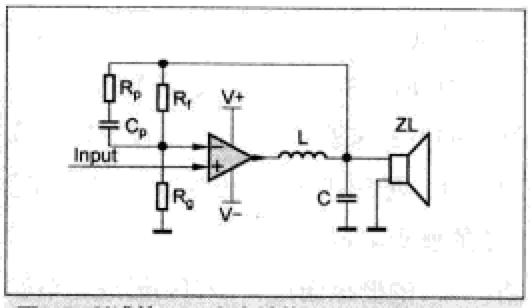


图9 飞利浦的UCD方案结构图

也是经过一级放大和一级缓冲后再送到5脚，这样做有两个目的：一是为了减小输入信号的内阻，保证叠加在比较器上的交流信号基本上不受电源电压影响。另外，5脚的电平幅度决定了PWM的调制深度，也就是说，如果5脚音频信号的幅值太低，输出的PWM波占空比变化范围太小，还原出来的音频信号幅值也会很小，这样，放大器的增益会变得很低。所以，放大级的另一个作用是提高了整个放大电路的增益。

最后完成的实物如图7所示，图8给出了一些测试波形。测试过程中，两个开关BJT有烫手的感觉。

从中不难看出，用555作的D类功放的PWM调制器性能是非常差的，不论在低频还是高频段的音频下，失真都非常严重（实际用扬声器试听也是如此）。这可能跟末级使用了功率BJT而不是MOSFET作为缓冲有很大的关系。图8（a）的波形能够明显看出，方波在经过BJT后出现了明显的过冲。另外在实验中特别要注意的一点是，在输入测试信号前，首先要将输入短路，观察BJT输出波形并调节R1，使得方波的占空比为50%，否则失真会更加严重。

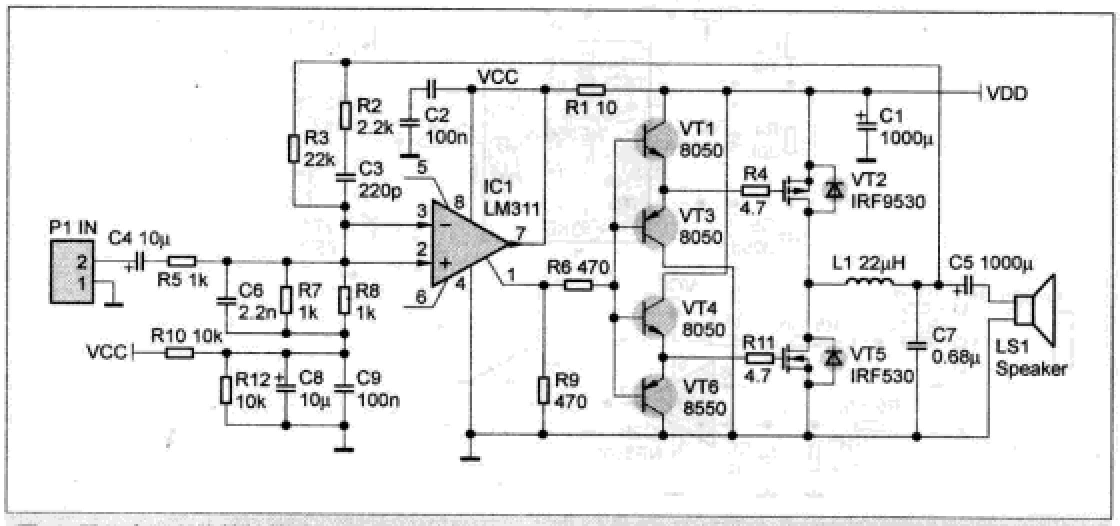


图10 用于实际制作的精简的UCD功放原理图

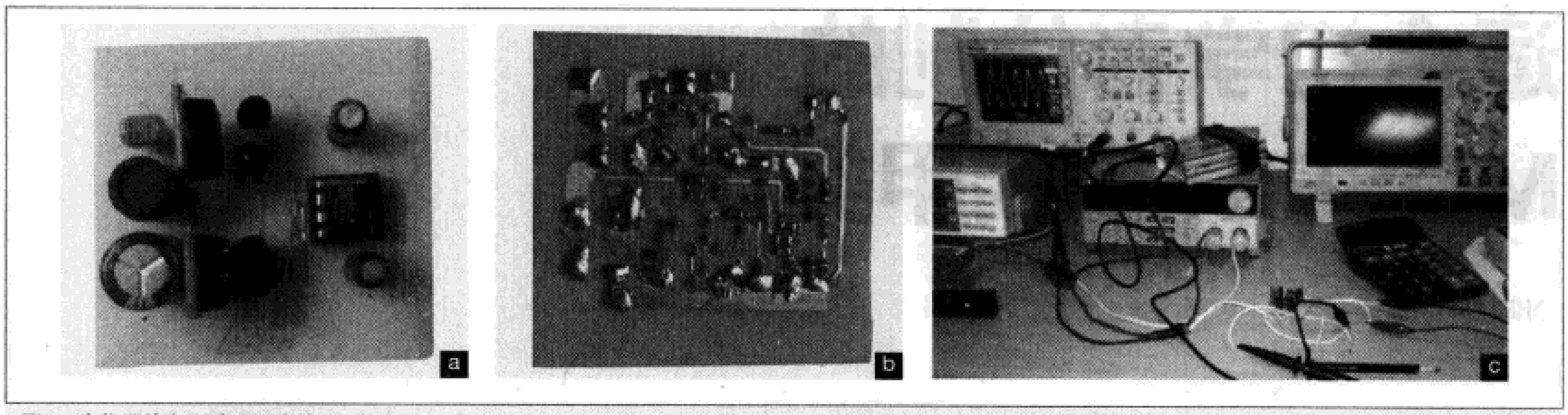


图11 实物图片和测试现场实拍

第3款 自振荡D类功放（UCD）

相信很多人都听过飞利浦的UCD方案，这个电路的结构非常简单，但是构思非常巧妙。图9是飞利浦UCD功放方案的结构图，电路中的比较器输出经音频信号调制的PWM波，L、C构成低通滤波器，上限截止频率设定在35～40kHz，那么这个滤波器会在10倍于截止频率（也就是350～400kHz）附近发生接近（但是小于）180°的相位滞后。另外，比较器的带宽限制造成的传导延迟也会带来相位滞后，这两个滞后的相位就超过180°了。再看一下图9中的Rp和Cp，给整个网络带来了一个超前的相位差，如果在某个频率点（350～400kHz），这个超前的相位差和前面滤波网络及传播延时导致的滞后的相位差之和正好等于180°了，那么电路将会发生振荡。由于在10倍于滤波器截止频率附近（350～400kHz），Rp和Cp造成的相移（绝对值）远大于滤波器和传播延时带来相移，所以振荡频率基本上由Rp和Cp决定。

如果没有输入信号（比较器的同相输入端接地），输出为350～400kHz的方波。如果输入端输入一定强度的音频信号，比较器翻转的阈值将会随音频信号幅度变化，比较器将输出一个受音频信号调制的PWM波。

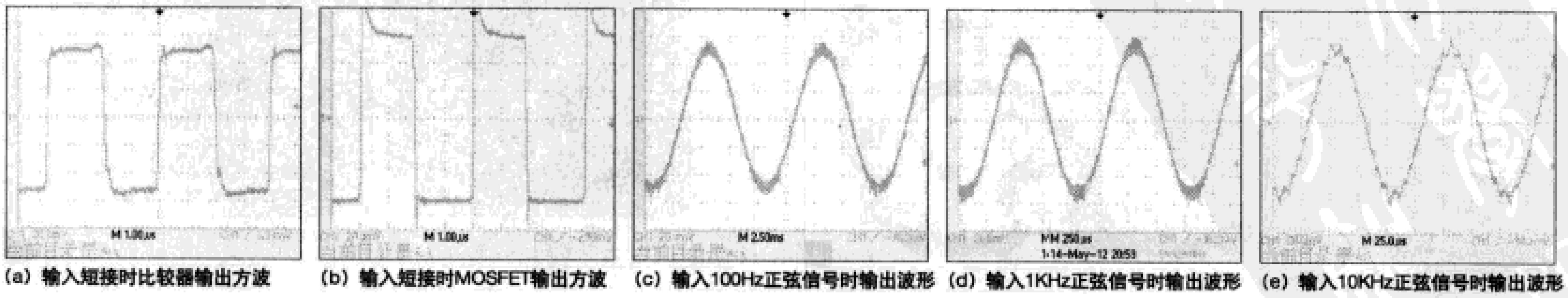
飞利浦的UCD原方案全部由分立器件构成，制作起来难度较大，不太适合初学者制作。根据这个方案的原理，笔者设计了图10所示的简化电路。这个电路中，我们又一次用到了LM311，但是仔细观察会发现，LM311的接法和前面的不太一样。如果按照之前的接法，从LM311第7脚输出的信号来推动后级电路的话，我们会发现，两个MOSFET的输出信号将会使信号反相一次，那么原方案形成的正反馈将变成负反馈，电路无法工作。在这里我们将LM311的7脚接电源，从1脚输出的就是一个和原来接法正好反相的信号，也就是说信号总共反相两次，相互抵消，形成了和图9一样的电路结构。

我们不难观察到，这个电路工作在单电源下，所以与原方案相比，增设了一个由R10、R12分压构成的VDD/2参考点以及输入、输出隔直电容（C4和C5）。

图11为实物图片和测试现场实拍。图12给出了电路的波形测试。从图17（a）、（b）中可以看出实际的振荡频率由原来预设的350kHz到400kHz下降到250kHz左右，这是由于LM311的翻转速率不是足够快以及简单的BJT驱动方式加大了传播延时，使得整个电路的相位滞后点提前了。图12（c）、（d）、（e）是电路在100Hz、1kHz和10kHz下的波形，反映出这个电路结构相对于前面的两种方式，性能有了较大的提高，并且这个电路通过R3和R8引入了负反馈，为电路提供了稳定的增益。

在实际使用时，单电源下隔直电容削弱了低频效果，而不是足够高的调制频率也使得高频部分的声音不清澈。但是总的来说，用这种精简的UCD功放来听听新闻还是没有问题的。

以上的讨论和制作纯粹出自个人兴趣，如果有不严谨的或者错误的地方，希望读者能够帮忙指出。大家有更好的DIY的结构，希望能够分享一下。



（a）输入短接时比较器输出方波（b）输入短接时MOSFET输出方波（c）输入100Hz正弦信号时输出波形（d）输入1KHz正弦信号时输出波形（e）输入10KHz正弦信号时输出波形

图12 精简UCD功放实测波形图

适合初学者仿制的MOSFET单端甲类功放

◇HE121

对于音频放大电路而言，尽管许多DIY爱好者都明白“简单容易出靓声”的道理，但在实际制作中仍有许多人、特别是初学者往往对设计简洁、用料普通的电路不屑一顾，总喜欢在复杂的线路上盲目进行“补品”堆砌，期望得到理想的效果，结果往往事与愿违。本文介绍的电路来自互联网络，是一款典型的“简洁、靓声”的设计，集线路简洁、调试简单、工作稳定、音色迷人、性价比高等优点于一身。笔者试制时对个别元件作了适当调整，加入了稳压电路，扩充了电压的使用范围，电路见图1。

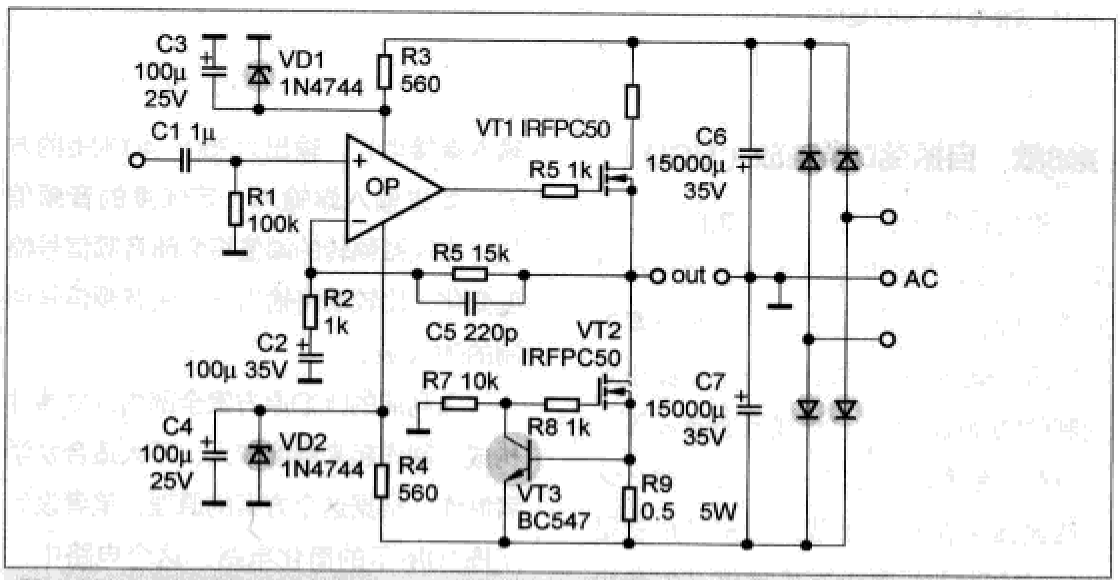


图1 MOSFET单端甲类功放电路图

电路的工作原理非常简单：运放负责信号输入和电压放大，VT1接成功率跟随器组态形式，运放和VT 1构成了电路的信号放大通道。VT2、VT3组成VT1的恒流源负载，其设定电流为1300mA左右，保证VT1始终工作于甲类状态。该电路采用双电源供电，OCL输出设计，避免了使用输出电容对声音造成的污染与劣化。

元件选择

运算放大器可选用NE5532、LF353、LF412、AN4558、OPA2604等型号的双运放，VT1使用N沟道MOSFET，型号为IRFPC50，VT2可采用IRFPC50或参数相近的N沟道MOSFET代替，VT3采用BC547，电阻R9使用5W水泥电阻，选值范围为0.47~0.68Ω，制作时要预留几组阻值，以备调整之需。其余电阻采用1/4W即可，电容C1使用无极性薄膜电容，为获

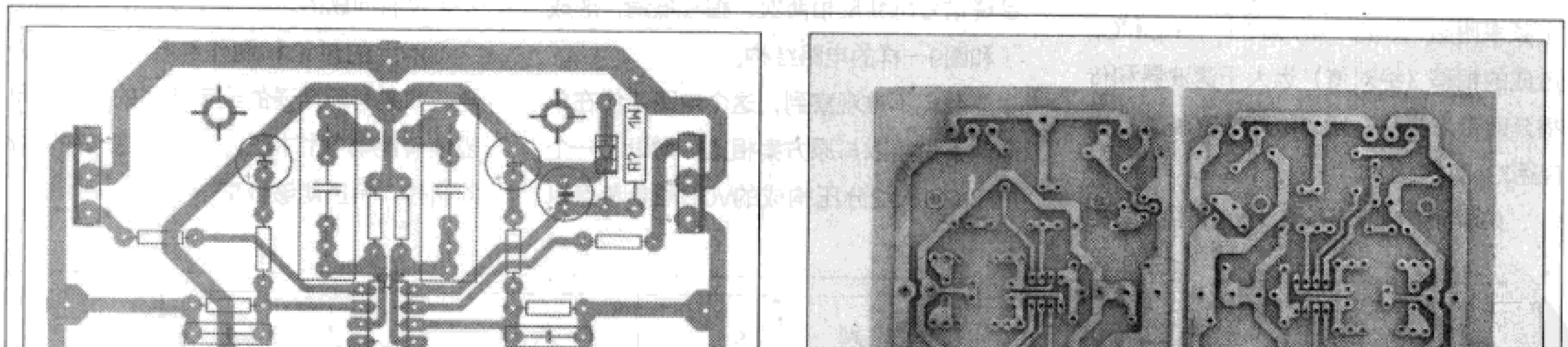


图2 依原理图自制的PCB

得较高的信噪比，电源滤波电容容量最好在15000μF以上，所有电容耐压须满足电路要求。电源变压器要求功率为300VA以上。

安装与调试：

图2是笔者根据原理图制作的PCB，大家仿制的时候可根据自己的机箱和散热器进行设计。由于VT1、VT2的工作电流较大，安装制作时要充分满足其散热需要。

笔者试制使用的电压为±18V，当供电电压等于或低于±18V时，VD1、VD2无需安装，并用导线分别将R3、R4短接。对照电路安装好所有元件，检查无误后就可以进行调试了。

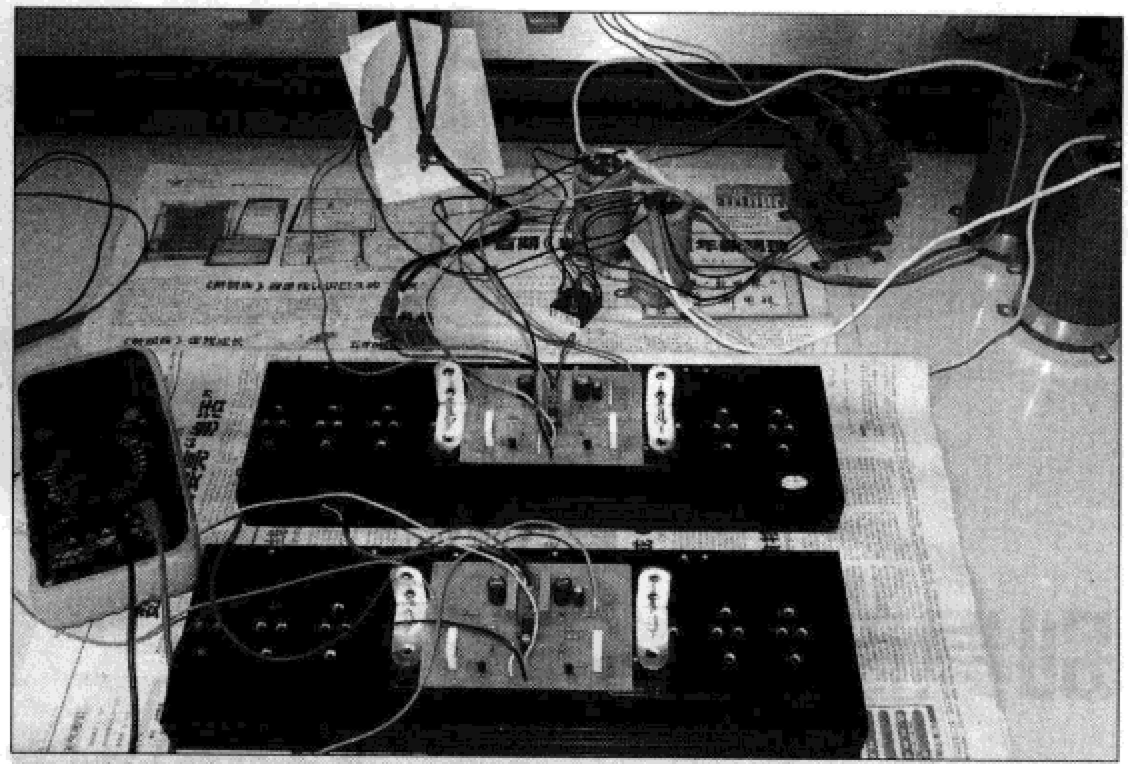


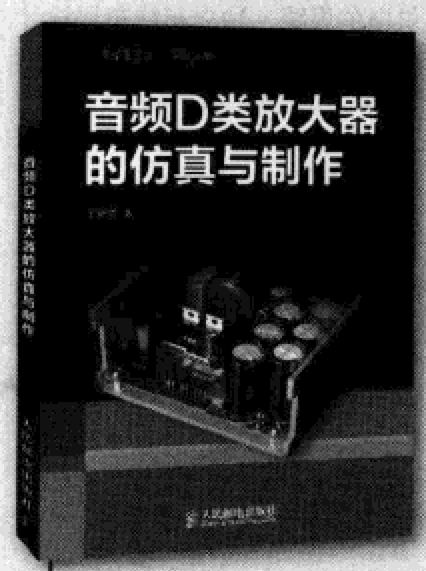
图3 调试中的场景

首先在电源回路中串入电流表，通电后观察电流表的变化，正常情况下电流表读数应在2.4~2.8A（两个声道）范围，此时R9（0.5Ω）两端的压降应在650mV左右，换算可知恒流源的电流为1300mA左右。测量中点对地电压应接近0V。如果上述数值稳定且在正常范围内，就可以接入信号试听了。反之，如果数值偏离过大，应立刻断电，检查安装是否有误或元件选值是否失当。本电路中点电压无需调整，改变R9的值可调整恒流源的工作电流，其阻值与恒流源的电流成反比。试验表明，电流低于900mA时，声音中的低频成分稍弱，当达到1200mA以上时，马上给人以渐入佳境的感觉。图3所示是笔者制作调试的经过。

该电路在±18V供电条件下可输出8W的甲类功率，±25V供电条件下输出功率超过15W，是一款非常适合初学者仿制的电路。

新书推荐

《音频D类放大器的仿真与制作》

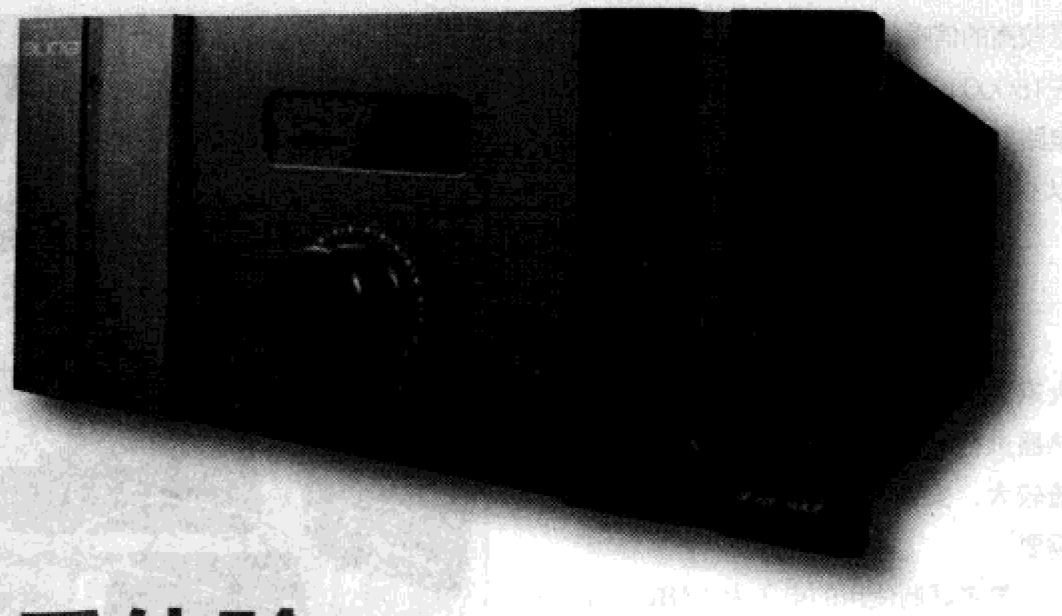


开本：16开
页码：220页
书号：ISBN 978-7-115-27942-2
定价：45元

《音频D类放大器的仿真与制作》一书是一本介绍音频放大器的技术读物。放大器技术可浅可深，而且充满了DIY乐趣。现代集成放大器设计的全过程都应用了EDA工具，它极大地提高了工作效率和产品质量。为了普及EDA工具，本书全部电路的分析和设计都是用SPICE软件完成的，为了降低阅读难度和避免枯燥，作者尽量以通俗易懂的物理概念来叙述，努力把内容写得具有知识性、趣味性和新颖性。

该书作者王新成2006—2008年在一家外企从事D类放大器的设计，探讨适于便携式电子设备和平板电视机的D类放大器结构。由于受国外专利壁垒的困扰，作者收集到的60多种结构都被申报了外国专利，于是自己创造了十几种结构。为了对比这些结构的优劣，试验了80多种电路，记录了几本笔记。本书的内容就是从试验笔记中选录的，所选录的电路以经典结构为主，其目的是为了普及D类放大器这一新技术，让更多的人了解和掌握它的特性和设计方法，进而发明创造出更好的结构。书中的全部电路都是作者独立设计的，仿真用的替代模型也是独创的。因为没有多少资料可供参考，可能还会有未知的Bug隐藏其中，提醒读者要以探讨和怀疑的眼光去阅读。

◇卢伟



别具韵味的音乐体验
——Performance A100功放制作随笔

在当今这个时代，互联网的好处是显而易见的——无穷无尽的音频和视频资源碰上便捷的播放软件使得管理和播放音乐变得更加轻松自如。然而普通的音箱所重放出来的音质往往令追求极致听感的发烧友们嗤之以鼻。因此，选购大型落地音箱成为很多发烧友的选择。但通常，大型落地音箱所需驱动功率高达80W以上，更加考验一台功率放大器的性能，这就令发烧友们很难从价格和性能中得到相互平衡。本期我们就为大家介绍一款Performance A100功放套件，它以润厚而强劲，细腻而清甜的音效体现了独具一格的价值效应。

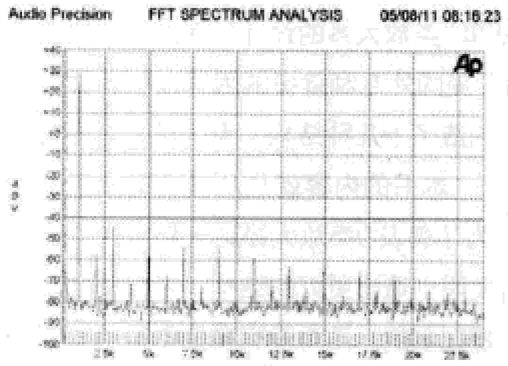
第一部分 设计特点

A100功放设计定位在一款高保真大功率功放，它的高瞬态电流供给能力以及采用双声道单独供电的思路，独立布线布局设计，让播放各类音乐无论在动态还是立体声还原上表现不俗。可以先来看看它的测试指标：

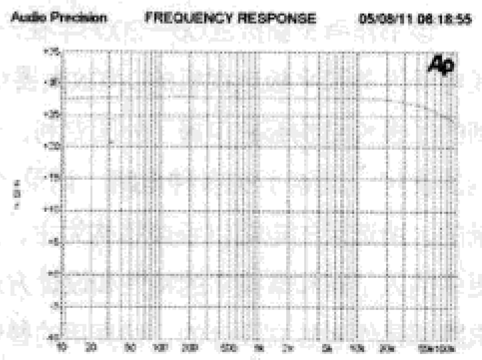
◆ 频率响应：3～200kHz，◆ 输出功率：200W，◆ 总谐波失真：0.005%。

下面显示的是A100的测量曲线图。

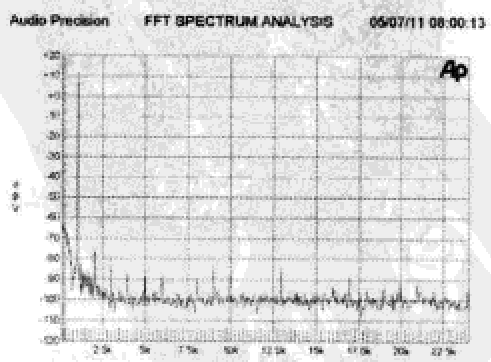
8Ω100W状态下的FFT：



8Ω50W状态下的频响曲线：



标准1W下的FFT：



A100的测量曲线图

第二部分 套件安装

当然，优秀的性能指标来自于优良的布线布局。就让我们一起来制作一台A100功放，一同体会DIY的乐趣。本人制作时，先从焊接功放的前级开始，再焊接功放的后级。完成各个部分的焊接后，组装也就成了三大块，即电源供给、功放前级、功放后级。这样循序渐进的好处是更加容易发现制作过程中所产生的问题，从而减少出错点，也就提高了成功率。

焊接篇

决定功放性能好坏的因素，除了优良的电子电路设计外，同样重要的是优质元器件的选择。本机的套件用料中含两枚伊戈尔A级500W高电压变压器、4枚特别定制的高压大容量电容（整机容量高达80000μF）、全套使用美国DALE军规电阻、NICHICON/Enla专用音响电容、镀金接插件、精心配对ON MJ1302/3281输出管及ON MJE15030/15031三极管。

在焊接制作前，当然需要准备一些装机和调试所用到的工具仪器。然后就要对照清单整理元器件，可以先将稳压芯片及MJE15030/15031三极管引脚弯折，并加装小型散热器，手绕电感，去除漆包层，然后进行上锡处理、电阻整形、两位接线座拼接等。焊接的工作是一件细心的活儿，请发烧友们一定要耐心完成。元器件遵循从低到高逐一焊接的原则，这里还是要特别提醒注意带有极性的元器件的方向，如：电解电容、二极管等。

经过细心焊接后，电路板就焊接完成了。再仔细对照电路板，检查元器件有没有焊反或者其他错误。检查完成后，接下来我们就开始下一步的组装了。

组装篇

在组装时，我对不同颜色的线做了不同的定义，这样很好地帮我区分了每条线的用途。读者如果觉得有意，也可以按照我的方式去做。我是这样给不同颜色的线下定义的：

红线——火线/V+；

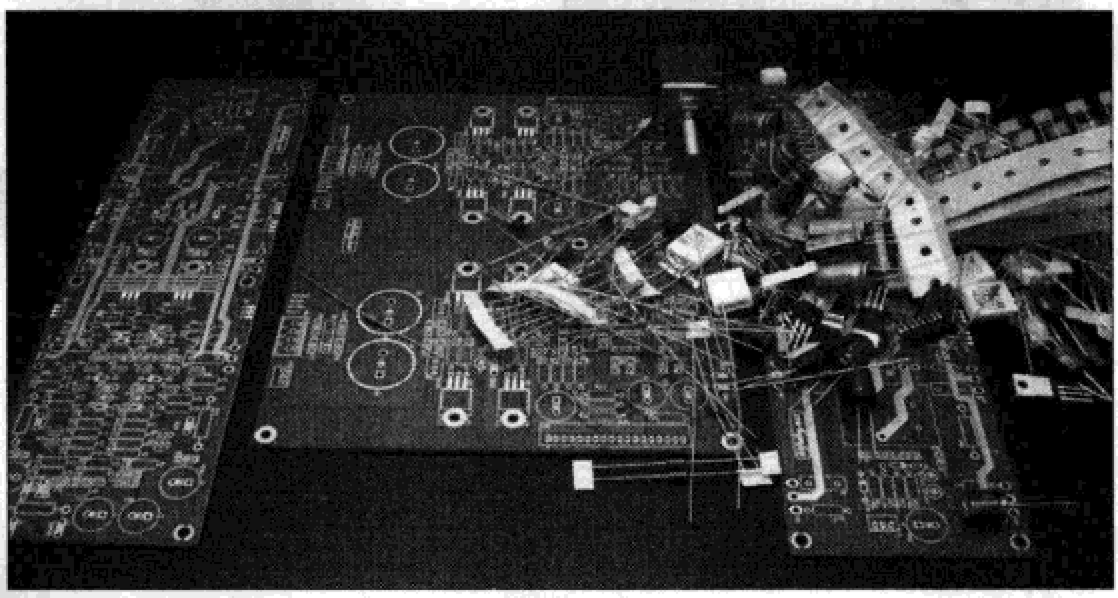
黑线——零线/GND；

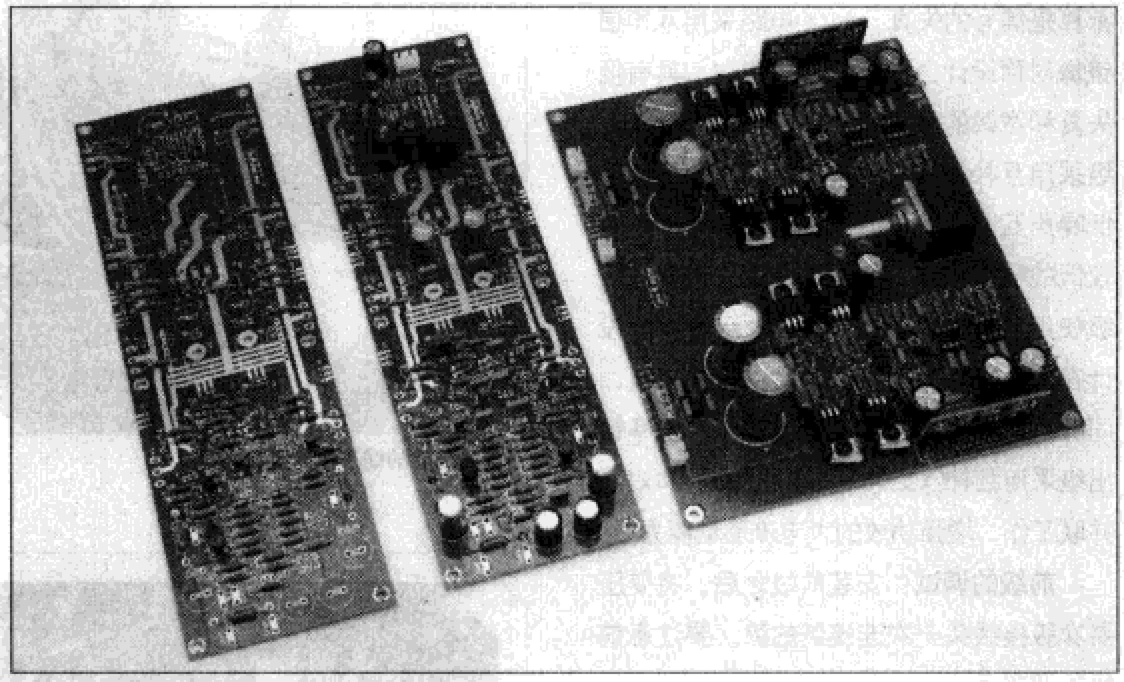
黄线——信号输出/V-；

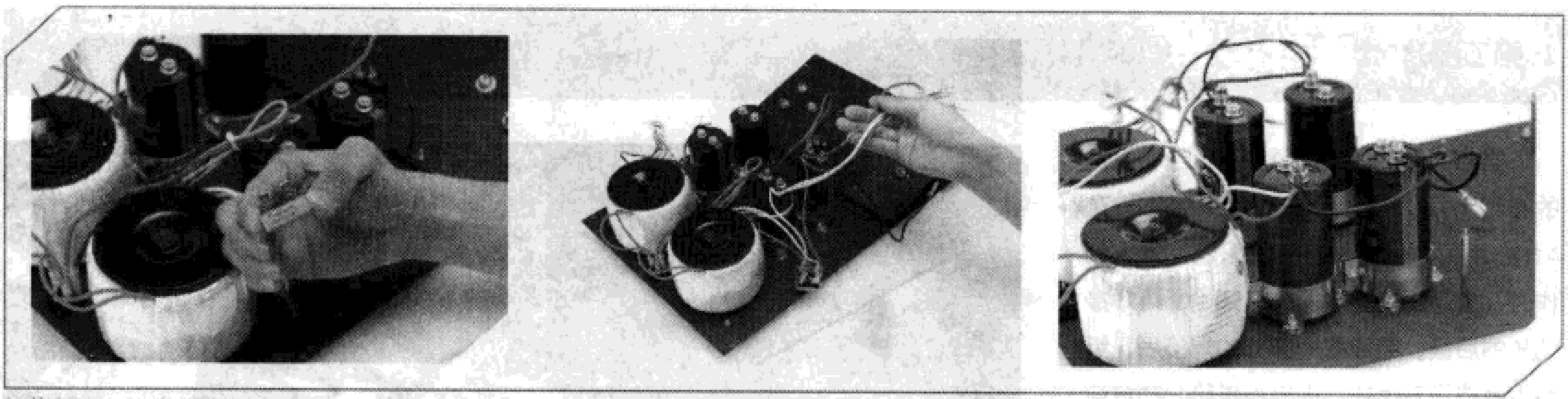
蓝线——信号输入。

因为功放各个部分电路的工作都需要电源供应，所以整机组装先从电源部分开始。众所周知，功放的性能依托于电源供应的基础，良好的电源布局、布线是成就优秀功放的关键！A100功放电源滤波采用4个22000μF电容，一般来说，滤波电容的容量并非越大就越好，但A100却采用如此大容量的电容，从实际使用的效果来看，结果是令人满意的——大功率输出的声音依旧强劲有力，整个音场有条不紊，清晰纯净。

在组装时要注意变压器的接线头两两相并，辨别整流桥的方向（标注有+/AC）、AC对角接变压器次级交流，次级双46V中间的抽头短接接地、+/- 对角正负直流，大容量电容要串联，最后次级双18V电源按顺序接入电路。


套件所含的PCB与元器件

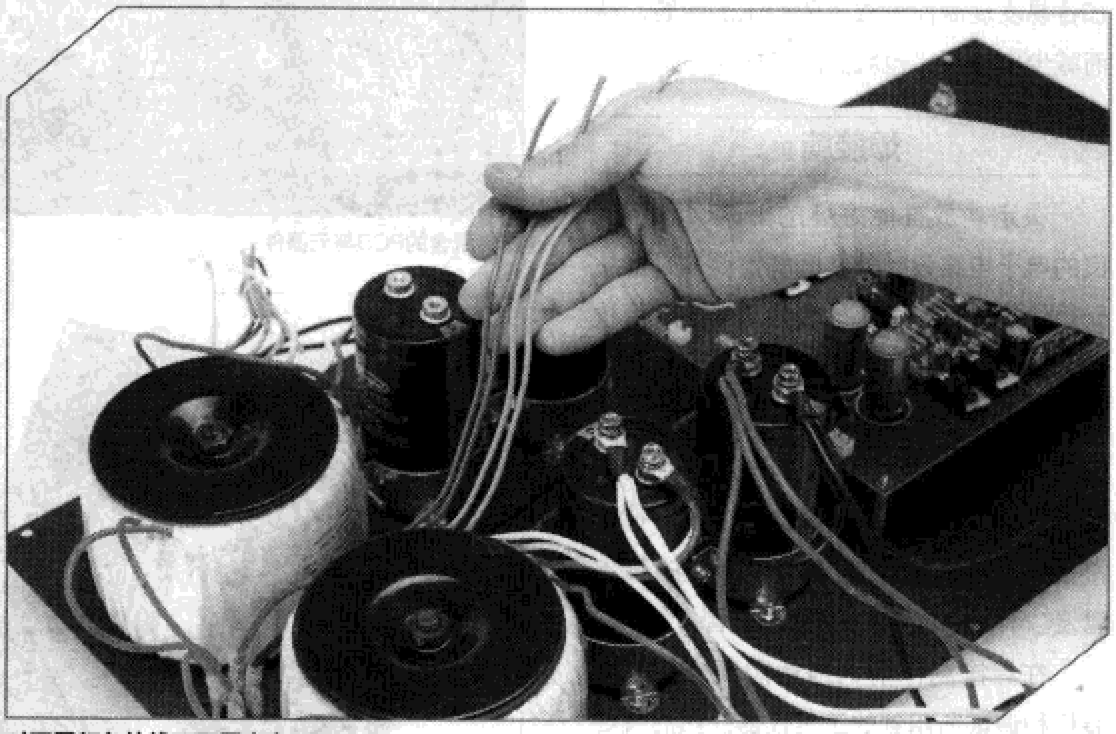

焊接完成的电路板


组装变压器时需仔细

调试篇

经过一番辛苦的工作后，终于迎来重头戏——整机的测试。

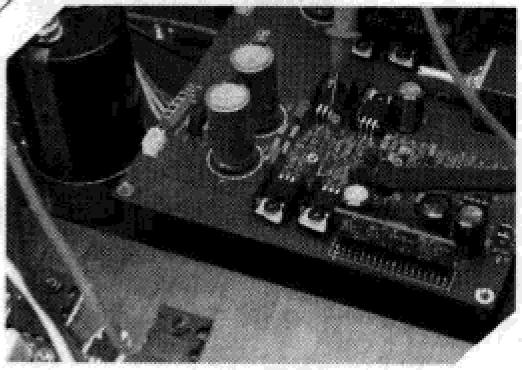
高保真功放设计的初衷应该是如实地还原信号原貌，任何的一种对音质的渲染都算是信号的失真。A100电路采用双声道镜像对称设计，信号流水式走向，具有低失真和宽阔的频响。整体电路构架是输入级采用互补对称差分放大电路，使用优质低噪声互补对管2SA970/2SC2240，具有较低的噪声和较高的动态范围。电压放大级使用互补推挽电路，输出驱动级工作设计在甲类状态，避免推动管的开关失真，同时为功率输出级提供偏置电压。功率输出级采用互补OCL电路，单声道采用4对管并联工作，增强功放的大电流驱动能力。

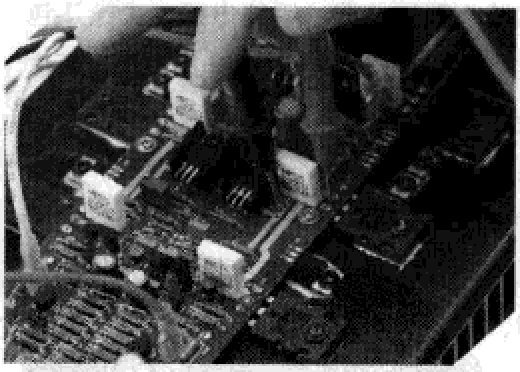

对不同颜色的线下不同定义

前级的调试：安装前级之后，将变压器次级接线头一次连接到前级。要注意前级的调整点：

A：R28/29用来调整LM317和LM337的输出，请调整输出为16.4～16.5V。

B：VR2用来调整MJ15030和MJ15031的输出电流，并调整10Ω两端的电压为0.1V。


前级调试


后级调试

后级接线与调试：应在先不安装功率三极管以及驱动三极管的情况下，通电检查，没有发现元器件明显的过热、烧毁后，再安装三极管。连接电源线，调节电位器，使0.22Ω 电阻两端的电压为 20mV。

调试完成之后就可以进行外围安装了，固定背光灯，电位器延长杆，合上顶盖，一台A100组装完成。

套件销售

套件价格：3680元+80元邮费

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志收，邮编：100061，请在汇款单附言中注明Performance A100功放整机套件和汇款人电话。2. 淘宝店购买：http：//boqu.taobao.com/

电子管功放DIY
——“鱼与熊掌兼得”

◇胡乃群

当今人们主要是从CD、DVD和网络等渠道取得数码类音源，音域宽广，但音色偏冷，而半导体器件功放大多也是偏冷、偏硬的音色，二者的组合加重了这种趋势，播放出来的声音不耐听。电子管功放以其高雅端庄的造型和温暖圆润的音色，配合数码类音源放音，可以较好地解决这一问题。因此电子管功放逐渐被人们重新认识，这是当下电子管功放又逐渐流行的主要原因之一。比较上档次的国内外名品电子管功放，虽然做工精湛，质量很高，价格却令人望而却步。随着电子管价格的平民化，加之网上购物极其便捷，胆机DIY所用元器件几乎可以“一网打尽”，有一定基础和动手能力的爱好者也逐渐多起来。

其实电子管功放并不神秘，比较有代表性的几种电路经多年的摸索实践，已经相当经典、成熟且不复杂，DIY的成功率很高，调试也比较简单。目前功率较大一些的推挽类电子管功放，前级大多使用三极管放大，倒相级主要采用屏阴分割或长尾式电路，功率放大级追求高保真度的，采用威廉逊电路的束射管改三极管接法。追求较大功率且兼顾高保真度的，则采用超线性式电路（UL）。所用的电子管，型号也就是常见的那么几种。由于几种推挽类电子管功放电路已经相当经典、成熟，各厂家和各种电子刊物所介绍的电路也都大同小异，只要关键器件，如音频变压器，质量有保障，成品机和DIY的机器并无大的内在质量差异。

DIY最犯难的有两件事：一是制作资料不细致，不便动手，二是元器件备不齐，干着急。现在网上购物便利，不但所需元件应有尽有，而且价格上的选择余地也很大。回想起多年以前到各地电子器件商店淘零件，有时还是为缺某个元件而大伤脑筋，那时候的艰苦与现在的便利条件相比真是天差地别，不可同日而语。

笔者DIY的功放机，有半导体分立器件的50W纯甲和200W乙类高速功放，也有前胆后石（场效应管）的100W甲乙类功放。但使用较频繁的，仍是用KT88自制的30W威廉逊放大器和50W超线性（UL）电子管功放，偶尔也使用20世纪90年代初购买的金牛套件组装的仿“Dynaco-ST70”功放。金牛套件机使用贴标的EL34，其中两只50W金牛GOX50-5.5推挽输出变压器质量、口碑很不错。用KT88组装的两台电子管功放，音频推挽输出变压器是自己手工绕制的。笔者曾经将金牛的GOX50-5.5和高级一些的75W

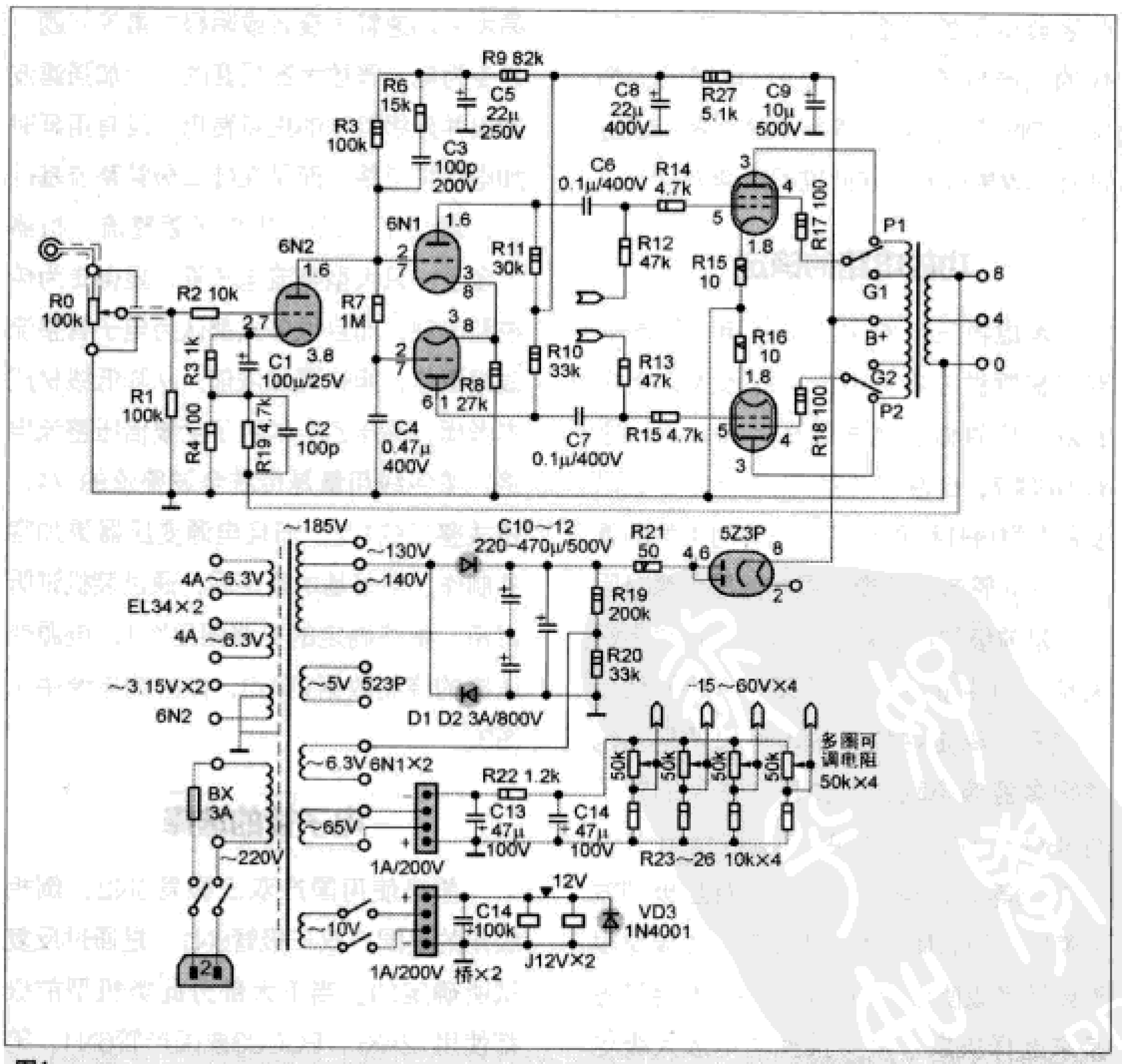


图1

的GOX75-5.5，与自制的输出变压器，在几台机器上轮流使用试听，基本没有区别。当地的一些爱好者和朋友，对笔者的几款电子管功放很是欣赏，尤其是笔者自制的音频变压器，制作方法简单易行，朋友们很感兴趣，也准备动手制作。由于笔者DIY的电子管放大器大多是双“单声道”设计，使用两个电源变压器，制作比较复杂，成本略高。威廉逊放大器虽然保真度指标高，但不如超线性功放的功率大，两种DIY机型换着用，比较麻烦，也是个小的缺憾。因而有人提出，能否在保证机器质量、取材容易、简单易制的前提下，尽量降低成本，并建议最好一部机器能够具备三极管接法和超线性两种玩法——“鱼与熊掌兼得”。朋友们的建议很有道理，毕竟对大多数人来讲，家里用不着两台电子管机器。如此，首先要确定一款简洁优良的电路，还要尽量使用物美价廉的国产电子管。为此，笔者翻阅了本刊历年介绍的一些有关文章，参考了一些经典机型的电路和二十世纪六七十年代的国产电子管扩音机使用电子管的情况，DIY了一台电子管功率放大器，通过试听，效果很好，在此推荐给读者。

功放电路的确定

考虑再三，确定的电路用一只高μ双三极管做左右声道的前级放大，用中μ双三极管做长尾式倒相。高μ双三极管有6SL7、6N9P、12AX7、6N4、6N2以及前苏联6H1和欧洲ECC83等同类型的管子。高μ管音质清晰，温和醇厚，最具胆色，是前级常用的管子，被不少顶级名机采用。用中μ双三极管做长尾式倒相，频响宽，稳定性好，基本不用调整，也被很多经典电路普遍使用，常见的管子有6SN7、6N8P、12AU7、6N1、6H1、ECC85等。这些管子虽各自有些极细微的差别，但总体上性能很接近，主要是根据设计者或使用者的喜好、经验和经济考量来选择决定。至于推挽功率放大级电路，为能做到“鱼与熊掌兼得”，决定用继电器来切换三极管接法和超线性接法，以满足不同的听音需求。所用的电子注管（束射四五极功率管），比较普遍的是EL34、6CA7，功率更大一些的是KT88、6550等，功率更小的有6P3P、6L6G等。本电路使用国产管EL34，当然也可以使用KT88或6P3P等功率管。这样，3只双三极管即可完成放大和倒相任务，再用4只束射四五极管完成两路推挽功率放大。这样的电子管功放成品机很多，各种电子刊物上也经常介绍。

整流电路颇费思量。现在许多成品机器或电路为节约成本，直接用半导体整流器件整流，不加任何延时保护措施，在冷灯丝情况下开机同时加上高压乙电。况且，三百几十伏交流高压在加电整流的几秒钟内，直流电压超过500V，然后再慢慢降至设计值，难免对电子管寿命造成影响，而且心理上也感觉别扭。整流电子管如5Z3P等，工作时加热阴极后才有高压，对其他管子有延时加电保护作用，不易发生加速管子衰老或阴极中毒等问题，是专为电子管放大器配套的。为加强滤波效果并延缓管子的更新费用，没有用延时加电保护电路，而是在硅二极管整流基础上，增加了一只5Z3P电子管整流。机器上多了一只大型整流电子管，显得更为传统和美观，而且很多人都认为电子管整流效果更佳，胆味更加浓郁。从降低线材成本考虑，高压乙电采用了全波倍压整流电路，漆包线用量是传统全波整流的1/4，桥式整流的1/2，而且电源变压器更加容易制作。电路基本确定后，通过装机试听试用，最终确定的电路图见图1。电源变压器的绕制数据见图2，做好的电源牛见图3。

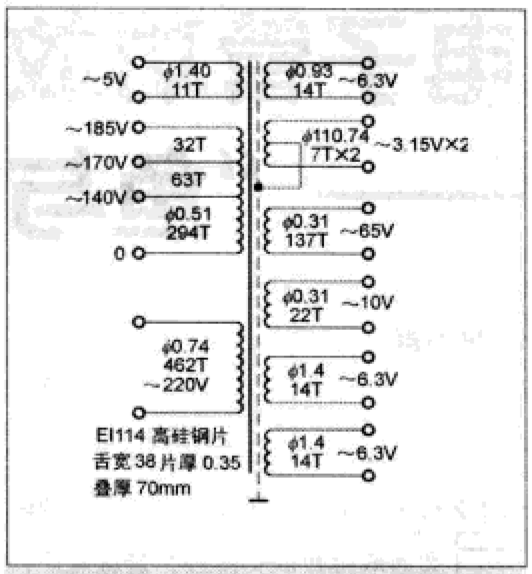


图2 电源变压器绕制图

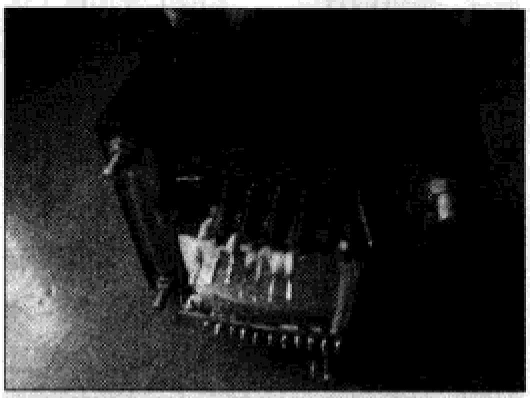


图3 做好的电源变压器

电子管的选择

前级使用国产双三极管6N2，倒相级用的是国产双三极管6N1，是通过反复试听确定的。当下大部分此类机型前级都使用12AX7、ECC83或国产管6N4。笔者手上有国外的红字12AX7，也有国产管6N4，当然也有不少6N2，3个型号的管子性能基本相同。12AX7和6N4虽然是低噪音管，但用在纯后级的功放电路中，几种管子的区别不大。在试听阶段，轮换使用、反复试听了这3种管子，音质上的差别极其细微，只能说是各有千秋，没有质的区别，因此决定前级用6N2，倒相级用6N1。在二十世纪六七十年代生产的国产电子管扩音机，这两部分电路清一色是使用6N2和6N1。国产电子管扩音机的话筒拾声器和电唱机均衡器、前级音调控制等电路，以及电子管超外差收音机的检波器，都是使用这两种管子，包括信噪比在内的各项指标很好。即使按今天的标准衡量，国产电子管扩音机各项指标也是Hi-Fi级的，使用6N1和6N2自然有其道理，6N1和6N2是我国电子管工业全盛时期的主打产品，生产厂家多，生产量大，工艺成熟，质量优异，当时被广泛使用。这两种管子玻璃壳管身有“㊎”标志的质

量最好，表现一流。目前这两种管子的存市量很大，价格低廉。因为6N1、6N2价格低廉，性能优越，普遍被认为是较高档家用听音设备的电子管放大器，但各厂家从市场因素考虑，反而不大用它，而DIY就不能埋没了它。如果前级要坚持使用较流行的12AX7、6N4等管子，只要将灯丝4、5引脚短接，与9脚共同接灯丝6.3V（3.15V×2）交流端子即可，印制板上已经作了考虑。

至于功率放大用的电子管，笔者手头有20世纪90年代初流行一时的金牛套装机贴标EL34（或是6CA7），也有俄罗斯EH的EL34和曙光厂的EL34B（束射四极管）。试听时也用过曙光的和俄罗斯EH的KT88，EL34的声音圆润而清晰，令人陶醉，KT88则增添了几分敦厚和威猛。

音频变压器DIY

笔者在本刊今年第六期上着重介绍了“四夹三” 音频变压器的制作方法。为适合两种玩法需要，这次实验机用的是以“三夹二”方式DIY的推挽输出音频变压器，俗称输出牛（见图4）。质量好的输出牛，一次侧的线径较粗，电感量大，电阻值小，高压乙电端子到功率管屏极端子，电压一般仅在10V之内，每组线包的电压差仅3V左右。因此，一次侧线包不必采用密平绕层间夹纸工艺，每个线包乱绕在“王”字型变压器骨架内，几分钟就可绕好一组，大大简化了工艺。用手摇绕线机，数小时即可完成一个看似复杂的

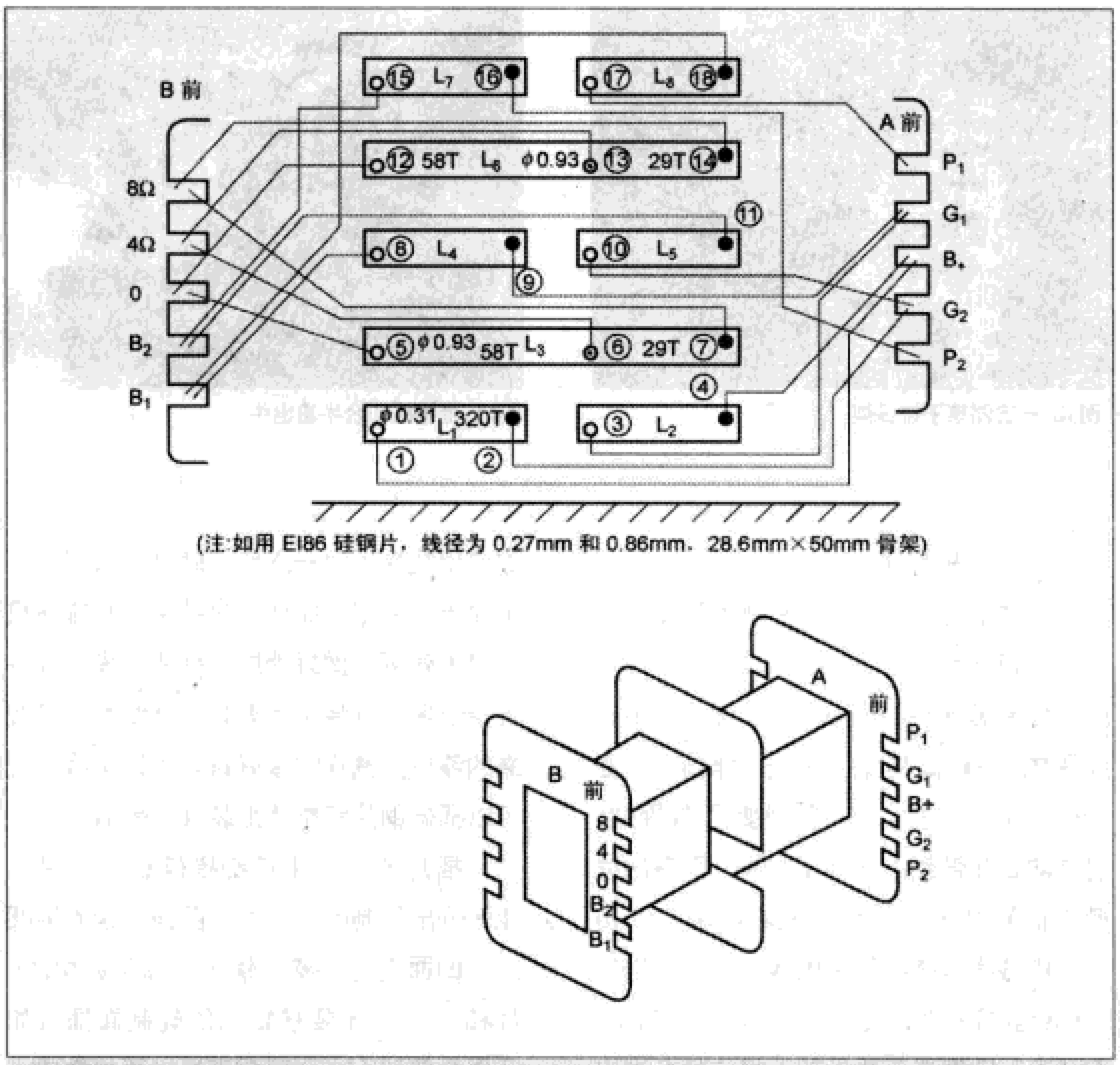


图5 音频变压器绕制图

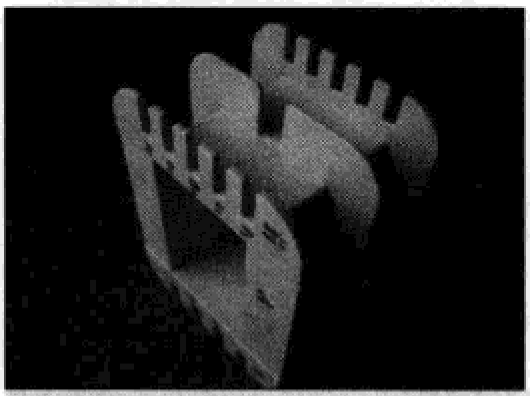


图6 做好标记的骨架DSCF0389

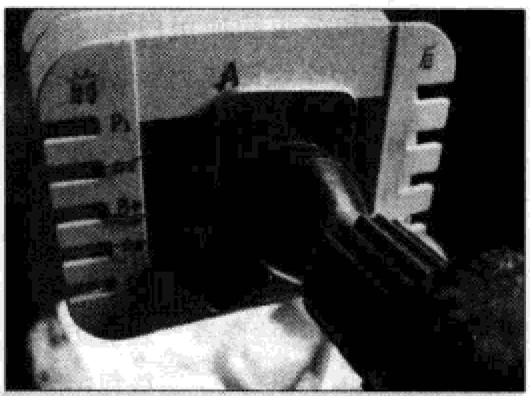


图7 做好绝缘，对号入座

图4 使用DIY的输出牛DSCF0689

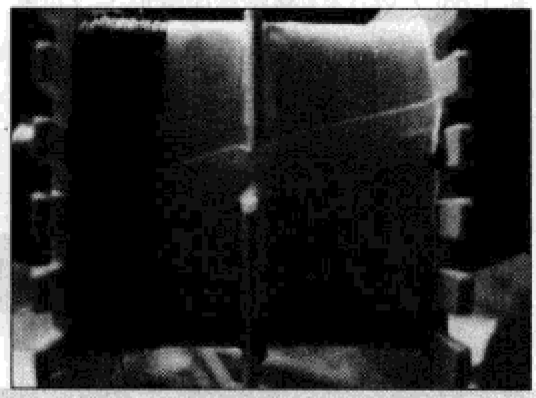


图8 一次侧从左向右乱绕

图9 完成装配准备

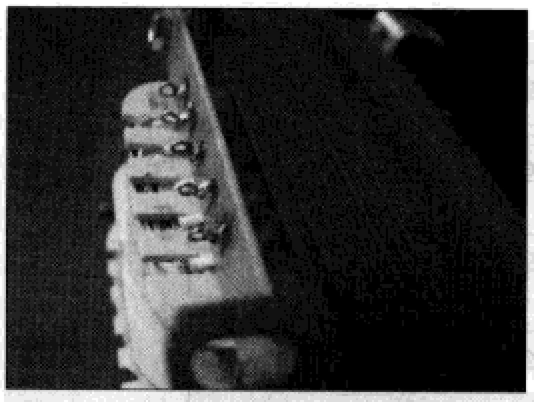


图10 一次侧端子接线架

图11 金牛机和金牛输出牛

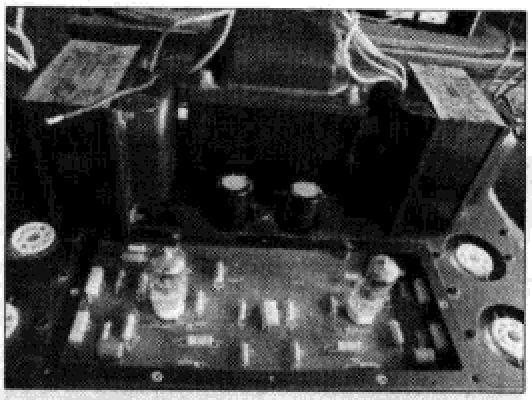


图12 拆下金牛机的输出牛

“三夹二” 输出牛。

具体制作方法见图5绕制示意图。简要说明如下：

绕制输出牛使用舌宽 32mm×50mm 叠厚的日 96 高硅钢片和与之配套的 32 mm×50mm 的“王”字型变压器骨架。绕制前要在骨架中间档正前面（即有出线槽口面）开出一 10mm 左右的缺口，用于安排各线包绕组的进出线，并供两组二次侧绕组完成通过缺口。还要按示意图 5 在“王”字型变压器骨架上相应的各进出线槽口做好端子标记，这项工作非常重要，可以防止各线包引线端子出错（见图 6）。

各线包和绕组间使用白色“双面贴”胶带纸做绝缘隔离材料，“双面贴”胶带上的白色纸面必须保留。用20mm和8mm两种宽度规格的“双面贴”相互配合，比较方便顺手。注意一定要用“双面贴”胶带纸把各线包、绕组和进出线端子严格绝缘隔离，还要防止上层绕组边缘的导线嵌入下层线包，降低绝缘强度（见图7）。

一次侧和二次侧绕组全部从左起头向右绕线。一次侧线包从左边绕起，分段逐步向右乱绕，至右边缘结束，不向左回绕（见图8）。二次侧线径较粗，匝数少，可以用手在绕线机上扳动骨架密平绕，绕满一层到右侧后，贴好“双面贴”做绝缘，再继续向左回绕完剩余的匝数。注意各线包、绕组一定要绕紧绕平整，防止线包凸出骨架，给插硅钢片工序造成困难。只要按骨架上做好的标记，将各线包绕组的进出线端子对号入座，就可一气呵成，不会出现差错。绕线工序结束，从绕线机上退下骨架，做好外层的绝缘封裹，标好各端子名称（骨架上有），仔细除尽各线端的漆皮，搪锡焊接好各功能端子线，就可以插硅钢片和整体组装（见图9）。

插片前，用手指细摸硅钢片边缘，能区分出轧制的凹凸面，凸面边缘光滑圆润，凹面有毛刺感。输出牛和电源牛的E片和I片，一定要按相同的轧制面插（如凸面全部朝上或全部朝下），两片叠成一组对插，不留间隙。插片工序结束，装入螺栓、支架，拧紧螺帽后，把输出牛一次侧的5个端子安装在接线架上（见图片10），二次侧线径较粗，绞合焊接后作为次级端子。制作好的输出牛要配上合适的方形变压器铁罩。电源牛要配个上面罩盖，屏蔽性能好，安全且美观。

笔者DIY的输出牛在试听过程中，通过切换三极管接法和超线性接法，在小功率状态下（10W之内），主观感觉音质上的区别极小，音量上的差别也很有限。为探个究竟，笔者索性将金牛套装机上的GOX50-5.5音频变压器换上（见图11和图12），情况相同，也没有多少区别。表明自制的音频变压器与口碑很好的金牛GOX50-5.5有同样优异的表现，难以分出高下。

安装与调试

笔者制作了两块印制板进行安装实验，其中一块是电源印板，感兴趣的读者可以登录无线电网站www.radio.com.cn上进行下载。电源变压器次级交流高压有140V、170V和185V三个接头，通过5Z3P整流滤波的直流电压分别在320V、400V和450左右，可分别供6P3P、EL34和KT88三种不同功率管使用。4个功率电子管的栅负压各自调整，可从十几伏到六十几伏之间变化，能满足三种不同功率管子栅负压调整的需要（6P3P在-15~-25V，EL34在-25~-35V，KT88在-45~-55V之间）。

印制板上电阻、电容、小九脚瓷管座等元器件和连接线都已经标示清楚，只要按照图纸安装、焊接无误，就不会出现问题（焊接完成的印制板见图 13 和图 14）。切换功放管功能用的小型八脚继电器，有

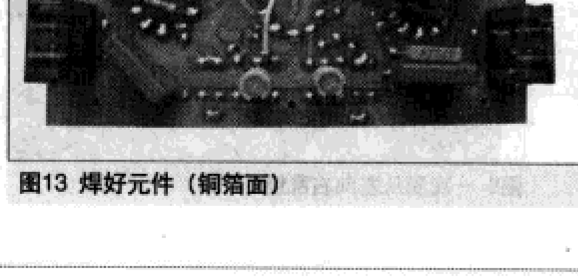


图13 焊好元件（铜箔面）

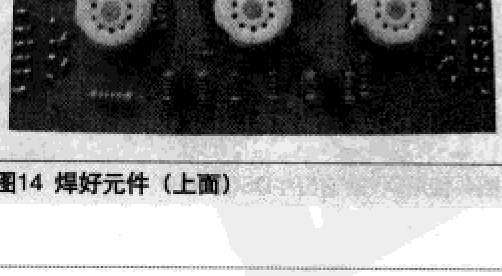


图14 焊好元件（上面）

两组常开常闭触点和一个启动线包，常见的是分为两边排列，每边各有4个脚，可将其侧卧安放，将其中一边的4个脚平焊在印制板上，另一边的4个脚架空来焊接使用。如果继电器形状不同，可根据情况自行安排，本文在继电器不加电启动时是三极管接法。两块印制板是利用功率管座和整流管座、大电解电容支架的安装螺丝，以及机箱最前部的3颗安装螺丝来固定的（$\Phi 3\times20$ mm的平头螺丝），因此印制板的螺丝安装孔一定要与机箱上板的相关各孔精确对应，便于安装固定，再安装焊接印制板上元器件（见图15和图16）。后来，笔者对印制板局部作了改进，布线更趋合理，减少了连接线。装配完成的图见图17。安装好的整机，务必先要连接好音箱负载，然后才可加电调试。一般情况下调整工作只有一项：调节50kΩ多圈可调电阻，功率管栅极（5脚）负电压将发生变化，使4个管子阴极上10Ω电阻对地电压均为0.4V即可。

关于整机成本

图1所示电路图上的全部电子元器件，以及铝制机箱、硅钢片、漆包线、变压器罩等，全部可通过网上购买，一网打尽。其中要注意的是，电子管不要用二手货，变压器用厚度为0.35mm的高硅钢片制作，新的更好，拆机的只要品相好些（如进口的Z11型旧片），照样好用。至于整机的花费，笔者为此网上浏览了一番，包括机箱、硅钢片、变压器骨架等，用EL34做后级，大约是1233元，误差不会超过±10%。如果使用KT88，要增加300~400元，即便如此，也低于DIY一台同等功率半导体甲类功放的成本。

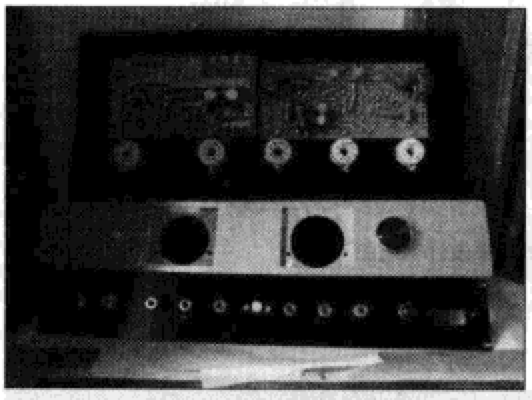


图15 固定好印板（里面）和前后板

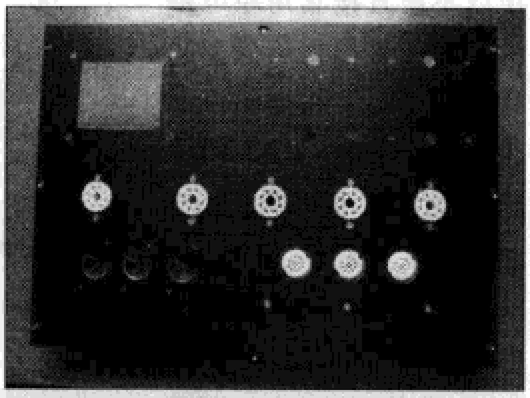


图16 固定好印板（上面）

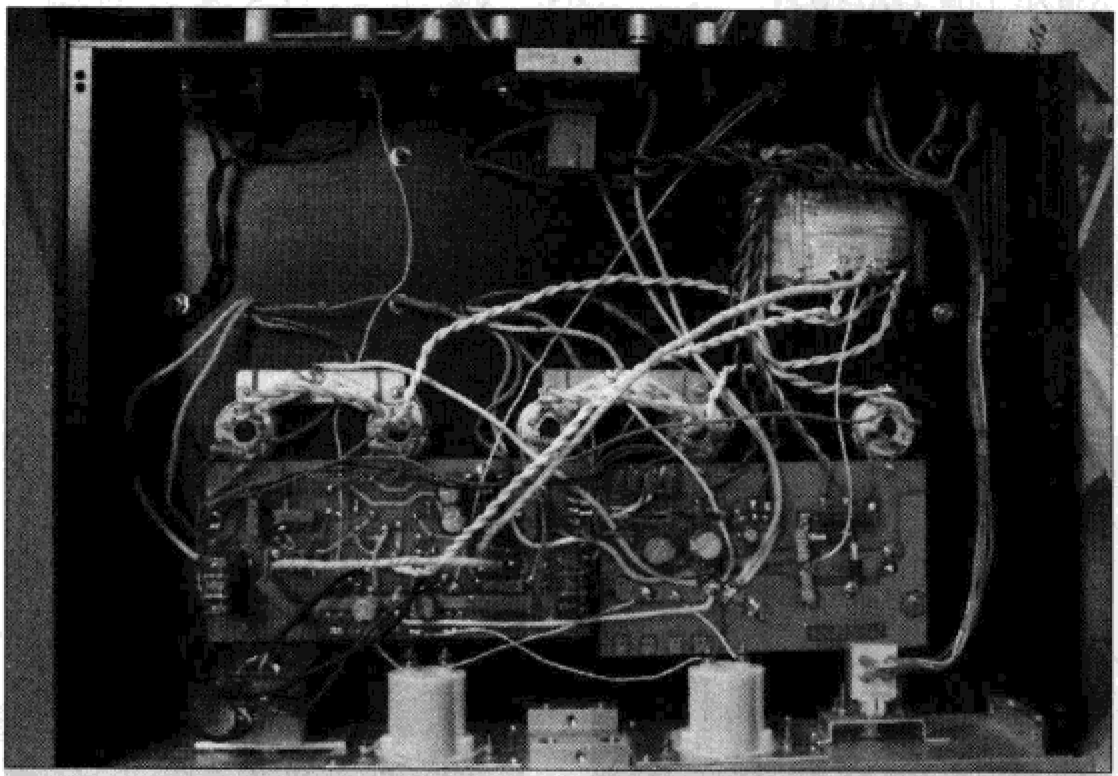


图17 实验机的连接图

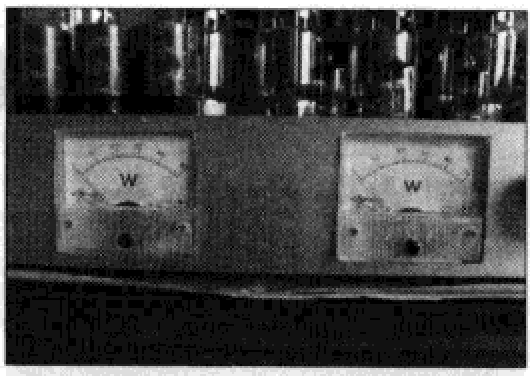


图18 电平表

机器如果加装功率指示表头（电平表）会显得更有档次（见图18）。但是要在70mm宽、7~8mm厚的铝面板上开好两个64mm×56mm方孔，内里再钻孔攻丝装配厚2mm的铝质衬板安装表头，制作上有些难度（加工条件不成熟不要装电平表）。所用电流表灵敏度500μA，尺寸64mm×56mm，内阻约160Ω，也是从网上觅得，每只5元。微安表改成电平表，限流电阻R的阻值计算，请参考有关资料介绍。用本文使用的表头，阻值为10.5kΩ（8Ω负载，额定输出功率40W，50W满度）。

使用20个小时后，测量4个功率管阴极电压，如有偏移再重新调整，然后逐一用相同阻值的1W电阻，把4个50kΩ的多圈可调电阻替换下来。

与大多新DIY的机子一样，起初声音略显朦胧，声场也不很开阔，用上十来个小时后，机器方能显出优异的本色，只会给你惊喜，不会令你失望。

■ 与本制作相关的印制电路图、机箱上板钣金加工图、整机装配示意图、电平表电路图、制作所用元器件及价格统计表等资料，可到《无线电》网站www.radio.com.cn下载。

JLH1969 OTL耳放制作

◇易方　刘婷月

要想发挥出高品质耳机的性能，为它选配一款相应素质的耳放是不可或缺的。优质的成品耳放价格不菲，对于有动手能力的朋友，自己动手DIY是个不错的途径。

常见耳放的电路结构主要有以下三种方式：电子管放大、运算放大器＋扩流以及晶体管全分立元件。这里选用JLH1969晶体管全分立元件电路制作耳放的原因，一是电路简单经典，容易制作，二是OTL电路的输出电容可以对耳机进行有效地保护。

JLH1969功放原设计图如图1所示，整个电路只用了4只晶体管。VT4作为输入级，把输入电压信号转换成电流信号，R5、R6和39kΩ电阻为VT4提供直流偏置。R3、R4、C3组成负反馈网络，决定放大电路的负反馈量和总增益。射极跟随器VT3在进行电流放大的同时，还完成c-e倒相，为VT1和VT2提供驱动信号。R1、R2、C1是自举电路，目的是提高VT2的输出能力。VT2和VT1工作在甲类推挽状态，消除了输出级交越失真、开关失真。并且因为在一个管子趋向饱和的同时，另一个管子趋向截止，可以抵消管子Ic/Vbe的非线性，获得很低的失真。

为了使电源的交流波纹足够小，JLH1969原设计使用电子滤波电源（见图2），当然也可以用常用的三端稳压IC来制作电源。

电路参数计算

耳机的阻抗、承受功率和扬声器有很大的差别，所以不能直接套用原电路的参数，要根据所使用的耳机，进行一些调整。本人使用的AKG K601耳机，阻抗120Ω，最大输入功率200mW，灵敏度101dB，频响范围12～39500Hz。

在120Ω负载上产生200mW有效值功率，需要放大器输出的信号电压的有效值为：U_o=（120×0.2）$^{1/2}$≈5（V）。末级输出管的饱和压降取1.5V，则电源电压U_c=2×（1.414×U_o+1.5）≈17（V），考虑到电压放大级的效率，实际电源电压取18V。

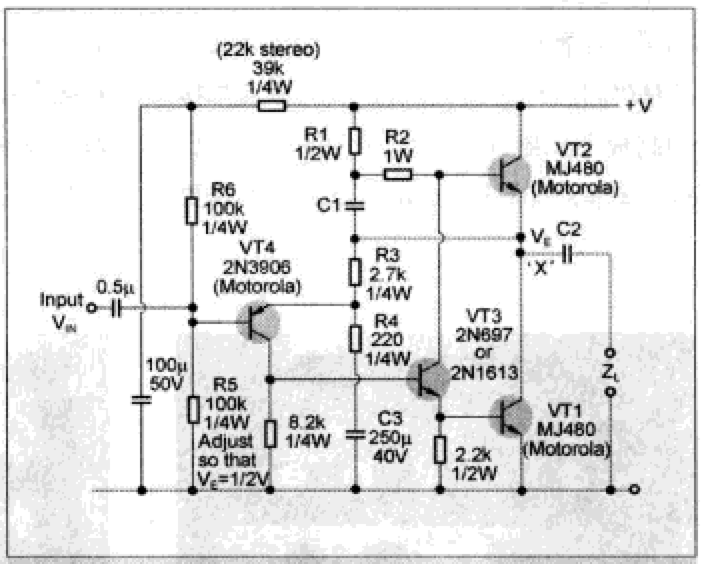


图1 JLH1969功放原设计电路图

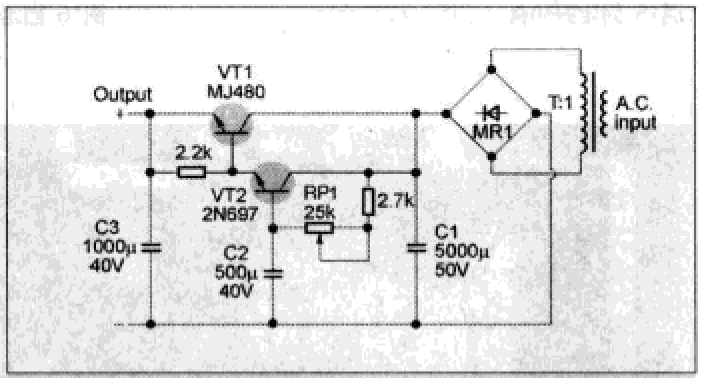


图2 JLH1969原设计使用电子滤波电源电路图

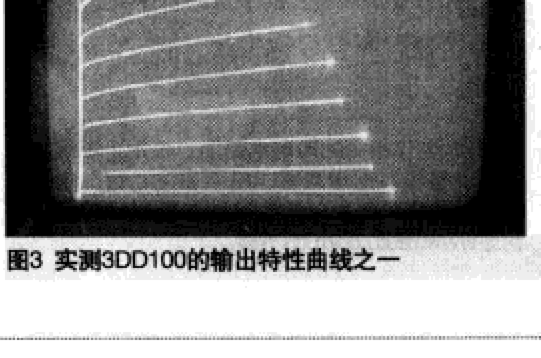


图3 实测3DD100的输出特性曲线之一

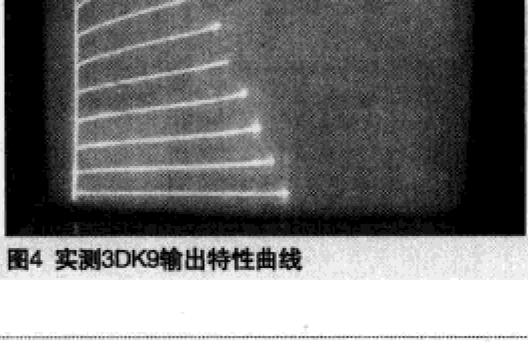


图4 实测3DK9输出特性曲线

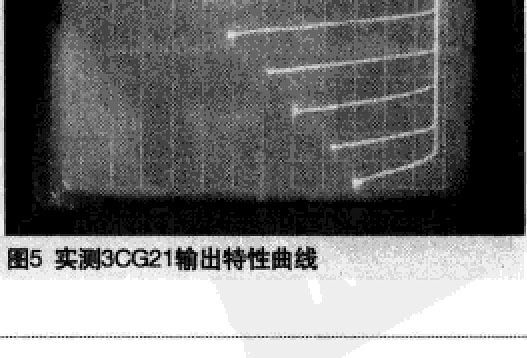


图5 实测3CG21输出特性曲线

末级静态电流I_Q=0.707（Uo/R_L）≈29mA。实际的耳机动态阻抗要远远低于120Ω，并且还要考虑到末级输出管电流放大倍数的线性区，实际取60mA。

电路增益计算。已知输出有效值电压Uo=5V，假设输入有效值电压Ui=1V，则可以算出所需电路电压放大倍数$A_U=Uo/Ui$=5。如果$R3$=2700Ω，根据近似计算公式A=（$R3+R4$）/$R4$，可以算出$R4$=675Ω。考虑到过深的负反馈会引起电路的不稳定，$R4$取470Ω。实际放大倍数大约是6.7倍，折合成电压增益，大约为16.6dB。

输出耦合电容的计算。$C2$=1/（2×3.14×R_L×f），其中R_L=120Ω，取下限频率f=6Hz（等于耳机低频下限12Hz的一半），可算出$C2$≈220μF，考虑到耳机的动态阻抗实际上低于标称值120Ω，实际取220~470μF。

输入耦合电容C=1/（2×3.14×R_i×f）≈0.5μF，其中f=6Hz，R_i=50kΩ，实际可以取标称值0.68μF即可。

自举电容C1的容量大小与放大器负载R_L、末级管电流放大倍数以及$R1$、$R2$相关，经验值宜大不宜小，这里取220μF。

负反馈电容$C3$=1/（2×3.14×$R4$×f）≈56μF，其中f=6Hz，$R4$=470Ω。实际取值110~220μF。所有电解电容耐压取25V即可。

为了使驱动VT1和VT2的信号大小一致，$R2$=2.2 kΩ，R1选用5 kΩ可调电阻，用来调整末级静态电流。

原图39kΩ偏置电阻这里选用50 kΩ可调电阻，方便调整输出中点。

原电路电子滤波电源部分，电容取标准值：$C1$=4700μF，$C2$=470μF，耐压25V。

放大器左右声道共用一个变压器，实际选用大于10VA的即可。

考虑到电子滤波器调整管上的压降和市电的10%波动，变压器次级交流电压取18V。

元件的选择

所有电阻选用1/4W金属膜电阻，用万用表测量，左右声道对应阻值一致。

输入耦合电容、输出耦合电容、负反馈电容和自举电容，对音色影响较大，可根据所使用的耳机、音源以及自己的听音喜好选择。本制作输入电容使用法国苏伦MKP聚丙烯，电解电容用松下FC电解。

末级输出管的静态电流60mA，最大峰值电流120mA，满足I_{cm}>500mA，P_{cm}>2W的中功率管都可以选用。这里

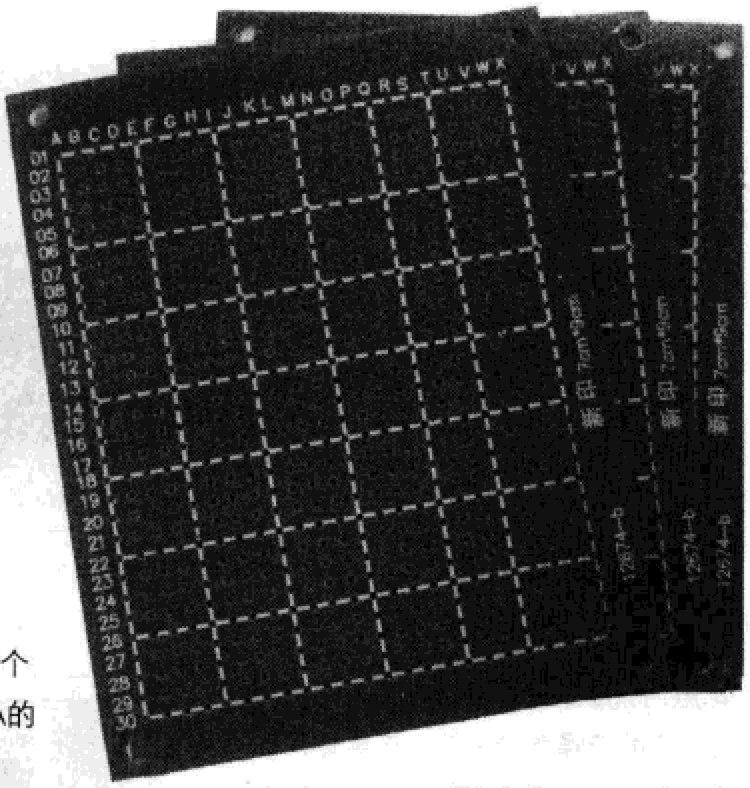


图6 标准7cm×9cm洞洞板

用国产3DD100，电流放大系数100倍左右，也可以用TIP41代用。VT2和VT1最好要在10~150mA配对。如果管子放大倍数有差异，放大倍数大的用在VT1，左右声道一致。图3所示为实测3DD100之一的输出特性曲线。

电压放大管VT3的静态电流大约为0.5mA，电流放大系数要和输出管接近，100倍左右。一般的小功率管都可以胜任，这里用国产3DK9，也可以用3DG12或者2N5551代替。图4所示为3DK9实测输出特性曲线。

输入级VT4完成电路的V/I转换，静态

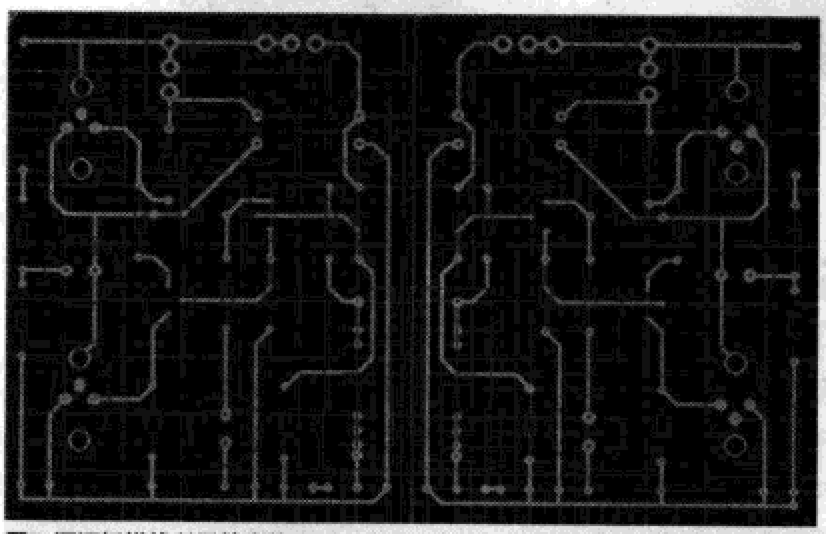


图7 洞洞板搭线所用的走线图

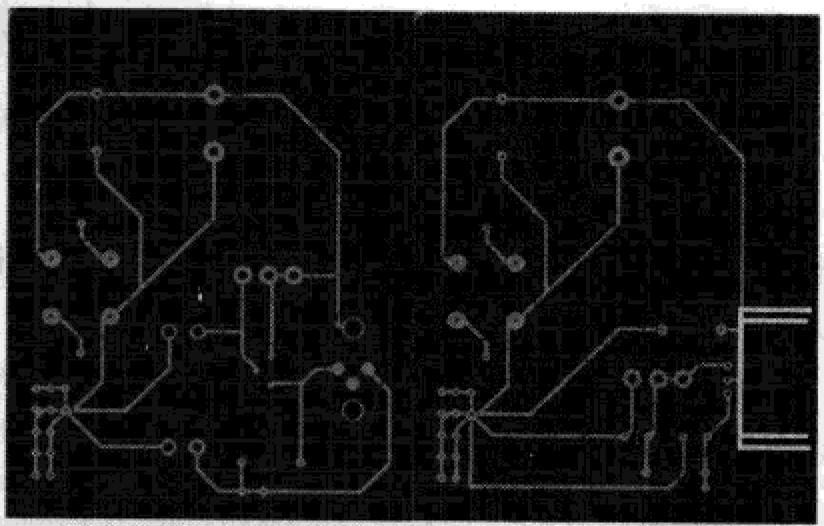


图8 电子滤波和LM317三端可调稳压板

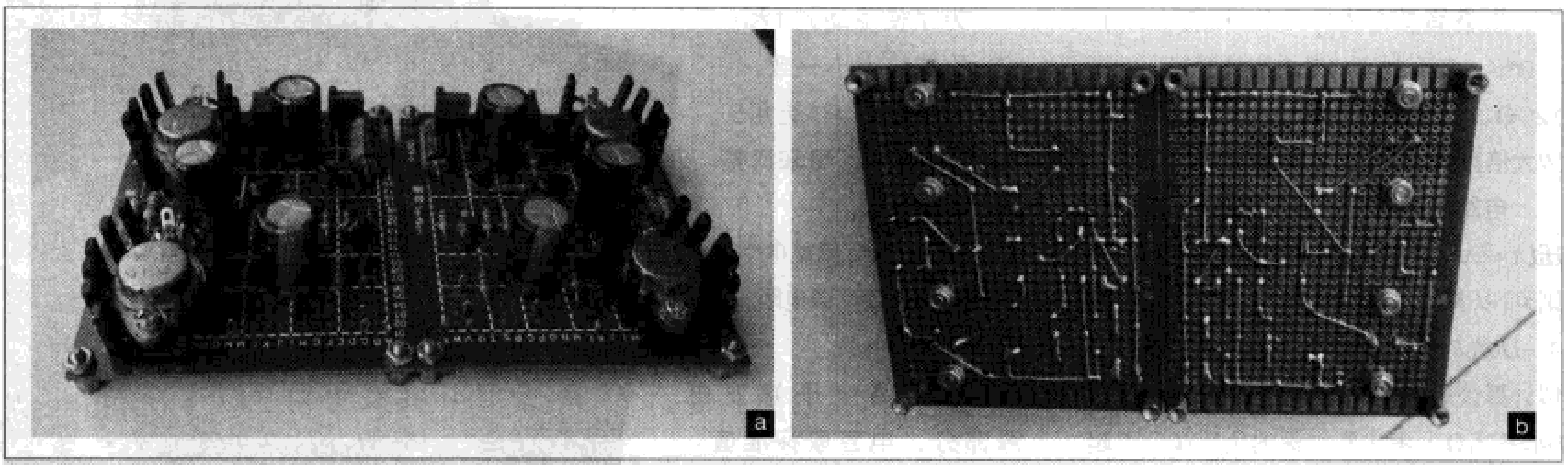


图9 焊好的放大板

电流0.17mA左右，宜选放大系数尽可能大一些的低噪声PNP管。这里选用国产的3CG21，也可以用2N5401，2SA970，C9015代用。图5所示是3CG21实测输出特性曲线。

电子滤波部分，用3DD100和3DG12组成复合调整管，放大系数要求不高，50~100倍都可以。所用电解电容根据自己喜好选择。本制作主滤波用国产CD281，50V/10000μF。

焊接

整机电路简单，用洞洞板搭线比较方便。实际采用标准的7cm×9cm洞洞板，如图6所示。

耳放对噪声的要求比一般的功放要高很多，地线走线不能马虎。本制作放大板上的输入地和反馈地，单独飞线到电源板一点接地，实际制作结果是没有丝毫可闻噪声。

图7所示的走线图，是为了方便洞洞板搭线画的，如果做PCB，可以根据电路再修改。放大板左右镜像对称。

为了比较不同电源对声音的影响，做了电子滤波和LM317三端可调稳压器两个板子，走线图如图8所示。

图9所示是焊好的放大板。图10所示是焊好的电子滤波电源板。图11所示是焊好的三端稳压板。

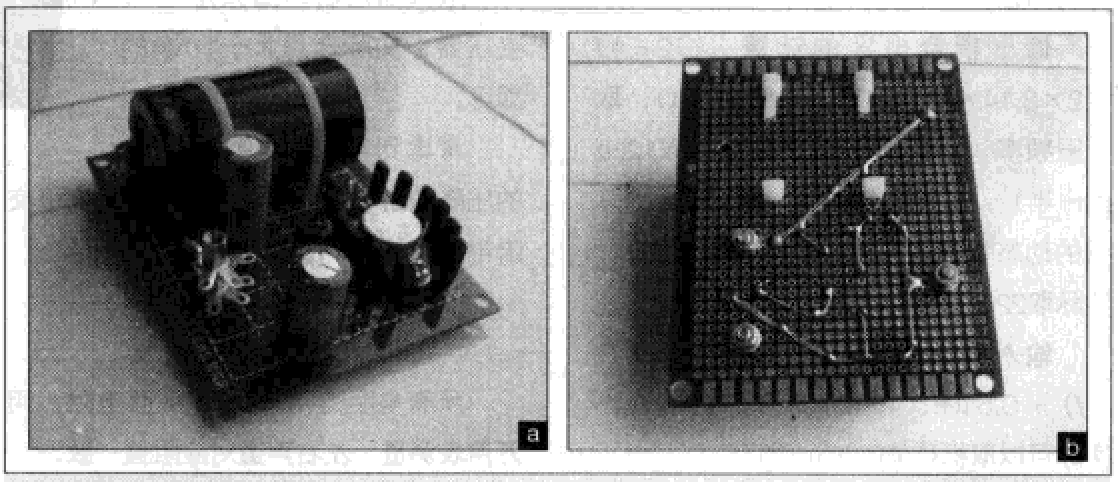


图10 焊好的电子滤波电源板

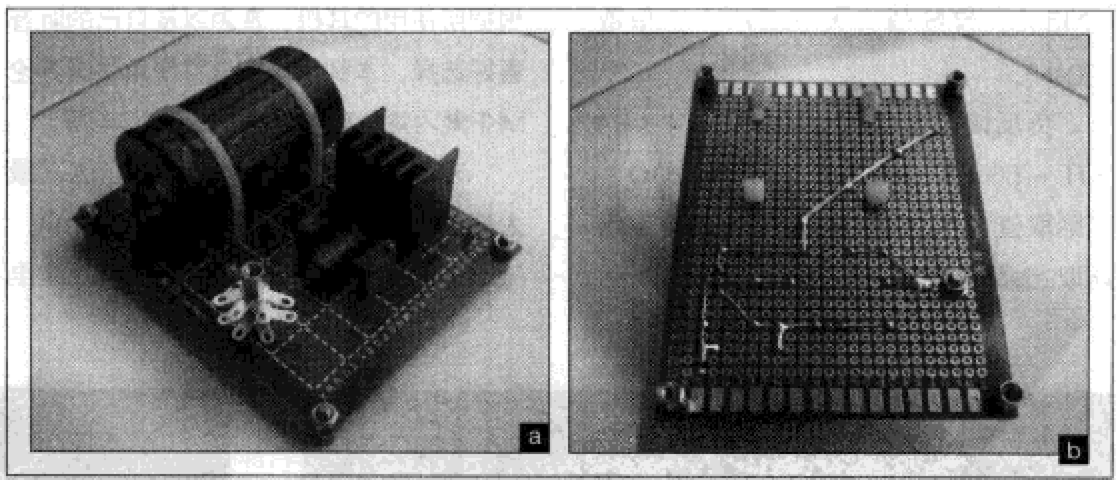


图11 焊好的三端稳压板

调试

板子焊好后，检查焊接走线无误，将RP1调整到阻值最大，就可以进行调试了。

先将放大板上的几路分开的地线连在一起，用一般的维修电源，电压调整到15V，关闭维修电源，将正、负极接到放大板上。打开电源开关，看电流表读数是否有异常过大（如果电流过大，迅速关闭电源查找原因后再加电测试），调整50kΩ可调电阻，用万用表测量输出中点电压为电源电压的一半，即7.5V。

图12 装机

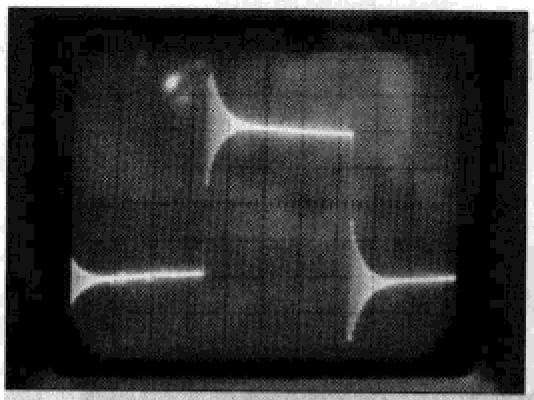


图13 未加补偿时的波形图

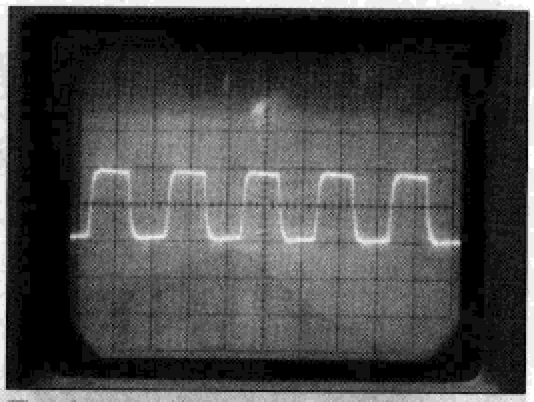


图14 加了47pF补偿电容后的20kHz方波图

通电5min左右，等输出管热稳定下来，调整RP1，使维修电源上电流表读数为60mA。再测量中点，调整到7.5V。通电10min左右，再调整电流到60mA。

首先是电子滤波电源板调试：用15V的维修电源加到滤波电容正负极，电源板输出接上个100Ω/3W的假负载，调整可调电阻，测量调整管上的压降为2V左右，输出端电压13V。需要注意的是，这个电子滤波电源有缓启动功能，要等2~5min电路稳定后测量。

所有板子调整完毕，就可以装机了，如图12所示。

机内走线需要注意的是要将220V的强电双绞走线，并且尽量避开放大板的输入部分，耳机插座地线和机箱地线飞线到电源板一点接地。

测试

静态的直流工作点测试，难以发现一些隐含的振荡。耳放制作完毕后，方波测试是很重要的。

如果放大器存在不稳定，就要加极点补偿，图13所示是未加补偿时的波形图。一般在放大级VT3的基极-集电极之间加几十皮法的滞后补偿电容来消除振荡，如图14所示。

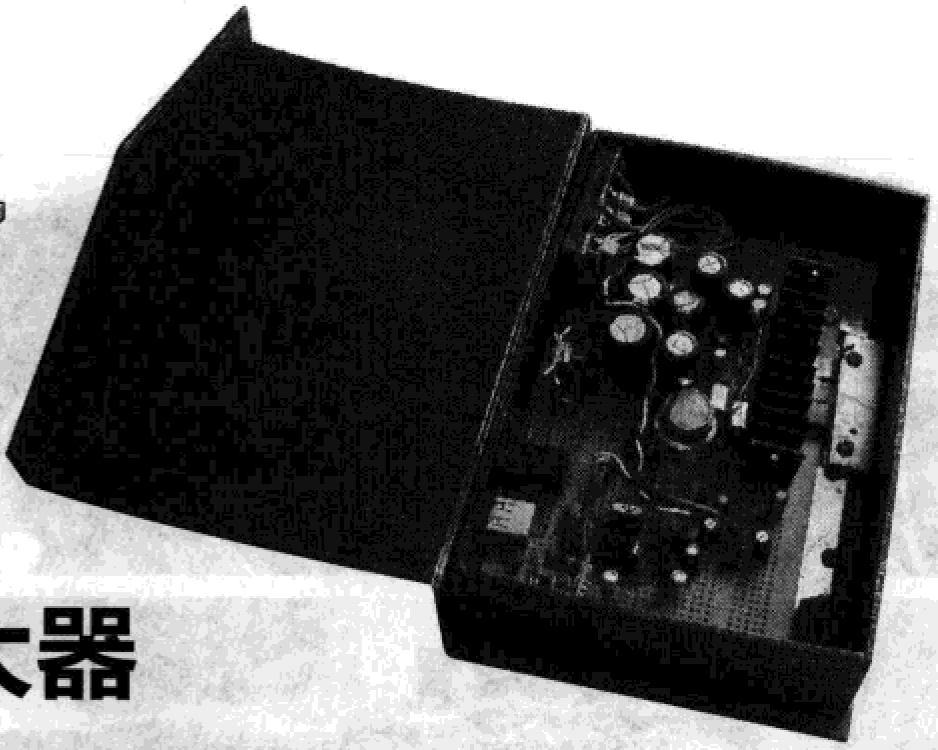
其他

阻尼搭配：耳机和放大器之间，需要阻尼匹配合适，声音才会松紧有度。实际可以在放大器输出串接20~100Ω/1W的电阻来试听调整。串接电阻会降低耳机上的功率，可以适当提高电源电压来补偿，同时也要适当增加输出耦合电容的容量。

输入端可以加RC低通网络，限制高频进入放大器，造成不稳定。

试听

全部测试调整完毕后，就可以接上耳机试听了。元器件的稳定需要时间，所以最好“煲”一段时间，等声音稳定下来，再根据自己的喜好对音色进行调整。



◇吴岩

用实验板做USB多媒体放大器

用电脑来听音乐只是电脑的一种辅助功能，电脑并不是用来听音乐的专业设备。但如何利用电脑，使之播放出更好的音质呢？笔者就出于此目的制作了一款基于实验板的USB多媒体放大器。目前采取利用电脑收听音乐的方式的人，大部分还是选择坐在电脑前进行，但是无论是在办公室还是家里，多数人的空间是比较有限的，所以没有办法追求过高的音质，功率也没有必要像家用Hi-Fi音响那样大。由于空间限制，太多声道也似乎没有必要，立体声足矣。

笔者自制的电脑多媒体音响主要特征如下：

立体声，功率放大器与音箱独立，放大器采用分体电源，为了传输方便，采用单电源形式，各部分各自分开，便于自制和分别升级。

两种输入形式自动转换：USB接口和Line in（线路输入）接口。

整个功率放大器为合并形式，全部电路都在一块100mm×150mm的实验板上，不需要制作印制电路板。

USB部分采用BB公司的PCM2702E，供电采用USB总线电源。

功率放大部分采用国半的LM4732，单电源供电方式。

考虑到主要与电脑配套，只加入了音量控制电路，未加入音调等电路。

为了自制方便，音箱采用了从二手市场上采购的两对完全一样的电脑多媒体音箱，舍弃带有功率放大的单元，两个无源音箱作为这套系统的喉舌。有源音箱中的扬声器可以作为备件备用。

电源采用了从二手市场上购买的笔记本电脑的电源适配器（见图1），方便可靠。

外壳采用茶叶盒（见图2），经济又有型。

整套设备的成本不超过200元。

图1 24V/5A的笔记本电脑电源适配器，输出接口已改

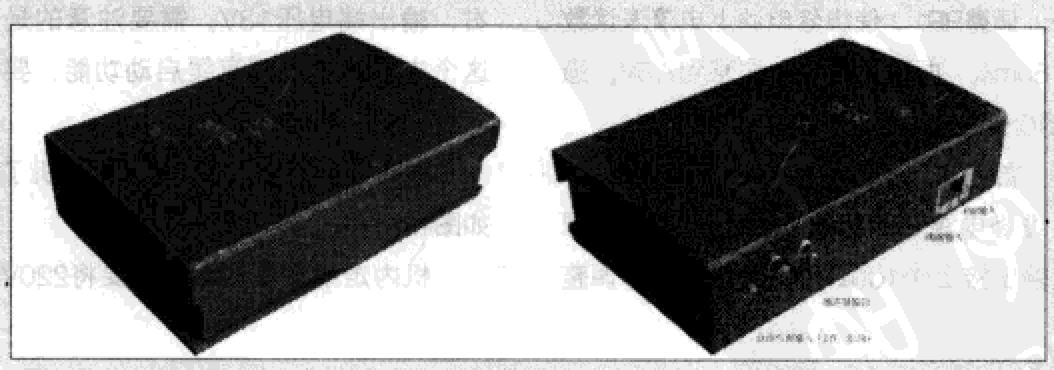


图2 笔者采用了茶叶盒来作为自制的USB多媒体放大器的外壳

电路原理与主要元器件

整个电路的原理图如图3所示。

下面分别介绍一下主要元器件及材料。

1. NUF2221W1T2

这是安森美公司生产的集USB线路终端、EMI滤波和ESD保护于一体的集成电路，使用这个IC不但可以省去PCM2702的USB输入端口的线路终端电路，还可以改善电路的性能和可靠性。

其主要特性有：

◆ 提供USB 线路终端。

◆ 提供滤波和ESD保护。

◆ 单向EMI滤波器有效阻止来自系统的噪声。

◆ ESD保护符合IEC61000-4-2

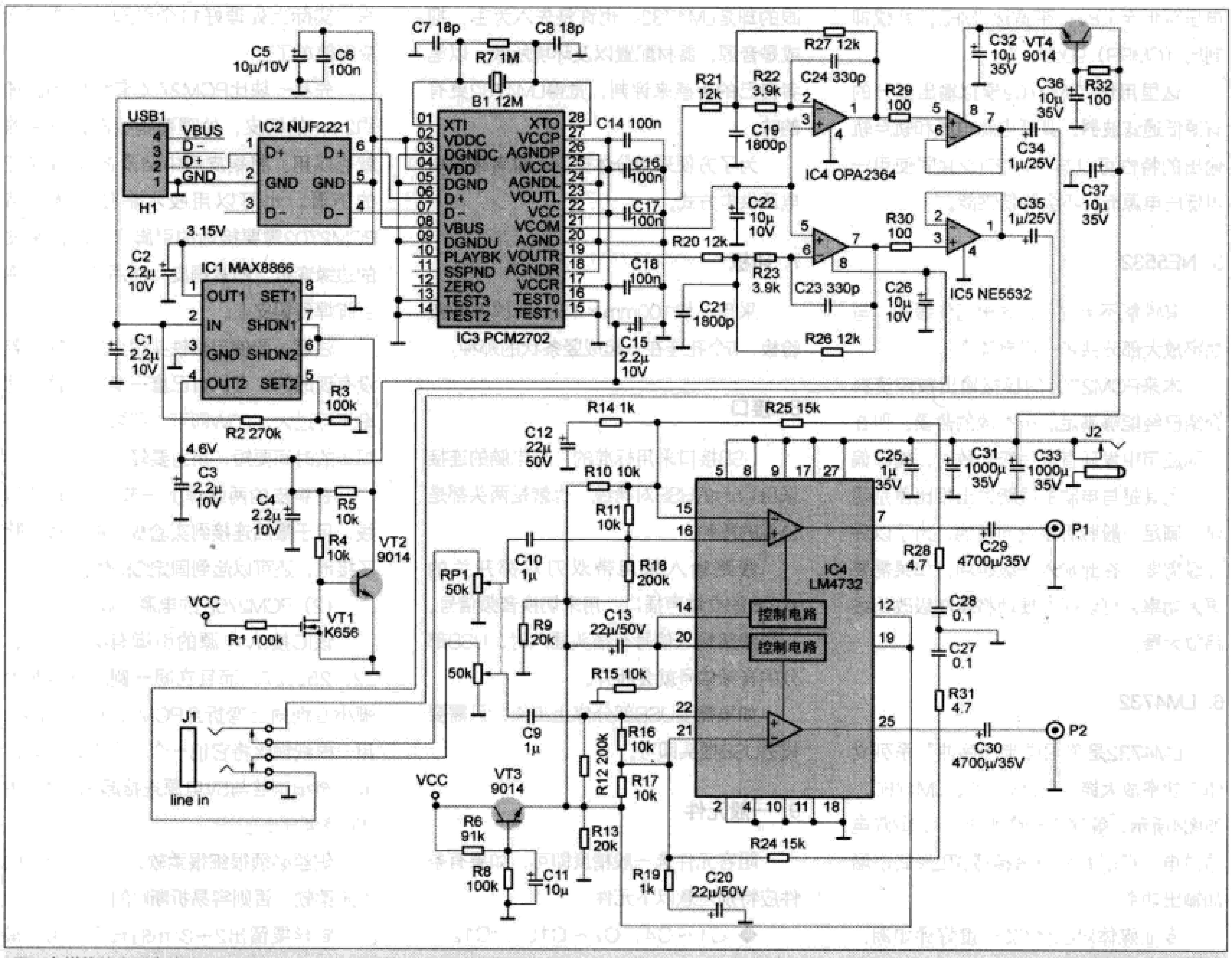


图3 多媒体放大器电路图

（Level 4）。

◆ 双模式，适合USB 1.1全速模式和低速模式。

2. MAX8866TEUA

美信（Maxim）出品的双输出、低压差线性稳压器（LDO），此处为PCM2702及OPA2364提供电源，主要特性为：

◆ 低压差，典型值：55mV。

◆ 低待机功耗，关断模式下典型值：105μA。

◆ 低控制电流，典型值：145μA。

◆ 低噪声，典型值：350μVRMS。

◆ 双输出，分别可调：1.25~5.5V。

◆ 多重保护：温度保护、过流保护、电源极性反接保护。

3. PCM2702

美国BB（BURR-BROWN）公司的16bit、双通道、USB接口的D/A转换器，国内报刊多有介绍。其主要特性有：

◆ 标准USB界面，全速12Mbit/s数据传输模式，兼容USB 1.0规格，无需驱动程序。

◆ 能接收单/双通道USB音频流，速率高达16bit。

◆ 模拟部分性能：

动态范围：100dB（typ at 16bit），

SNR：105dB（typ），

THD+N：0.002%（typ at 16bit）

最大输出：3.1Vp-p。

◆ 内置8X数字滤波器，模拟输出部分片外只需要一个低通滤波器，有源无源都可以，有源模式可以提高性能。

◆ 数字采样速率：32kHz、44.1kHz、48kHz。

◆ 片上时钟发生器，只需一个外置的12MHz晶体振荡器。

◆ 双电源，模拟部分为+5V，数字部分为+3.3V。

4. OPA2364

美国BB（BURR-BROWN）公司的低压单电源、轨至轨输出的高速运放，电源

电压可低至1.8V，带宽达7MHz，共模抑制比（CMRR）90dB。

这里用作PCM2702模拟输出部分的有源低通滤波器。其低电源电压和轨至轨输出的特性可以与PCM2702共同使用一组低压电源而又不会降低性能。

5. NE5532

其性能不用说了，这里用作缓冲，与功率放大部分共用一组电源。

本来PCM2702的模拟输出按照资料介绍已经能够满足后级功放的需要，但在实际应用中发现直驳后级功放时，输出偏小，尤其是与电脑的线路输出相比差别明显。满足一般聆听是没问题的，为了以后升级需要，在此加入一级缓冲，如果需要更大功率，可以很方便地将缓冲级改为线路放大器。

6. LM4732

LM4732是美国国半“序曲”系列立体声功率放大器，与LM4766、LM4780，如图4所示，等属于一个水平，可单/双电源供电，可以并联或者接成BTL形式以增加输出功率。

专业媒体对LM4780一度好评如潮，DIY市场也新品迭出。相比之下，LM4732的知名度就小得多。除了额定功率输出能力稍微小一些外，LM4732的技术指标并不逊于LM4780，二者的上市年代、封装形式、引脚定义、目标市场均相同。虽然笔者接触LM4780并不算迟，不过最先入

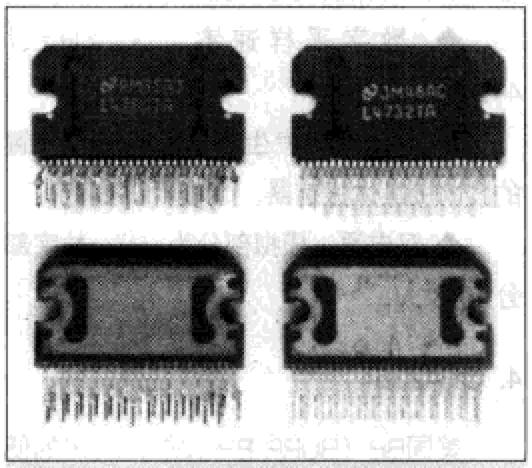


图4 LM4732与LM4780

眼的却是LM4732。也许是先入为主，抑或是音源、器材配置以及环境所致，以笔者自己的听感来评判，觉得LM4732更有韵味。

为了方便采用分体电源，笔者采用单电源供电方式。

7. 印板

采用一块100mm×150mm的万能实验板，5个孔连在一起成竖条状的那种。

8. 接口

USB接口采用标准的，与电脑的连接采用1.5m的USB对拷线，也就是两头都是公头的那种。

线路输入采用带双刀双掷开关的ϕ3.5的立体声插口，用来切换音频信号。

线路输入信号有插头插入时，USB部分的音频信号就会断开。

如果需要USB部分停止工作，只需要拔去USB插头即可。

9. 一般元件

阻容元件选一般精度即可，如果有条件应特别注意以下元件：

◆ C1～C4，C7～C10，C12，C20，C29，C30，C34，C35；

◆ R7，R14，R19～R27；

◆ RP1，B1。

适当提高这些元件的精度或者品质，有利于提高系统的音质。

制作要点

1. 业余条件下PCM2702的安装和焊接方法

PCM2702采用SSOP28封装，引脚小而密，业余条件下不易焊接安装，尤其是采用实验板时，笔者采用的是下面的方法：

（1）PCM2702 的接地引脚

PCM2702有11个引脚接地，7个引脚接电源，3个引脚可以悬空，这样算下来，实际上处理好11个引脚，问题就会变得简单了。

先找一块比PCM2702窄约1mm、长约2mm的铜皮，处理覆铜板时揭下来的就可以用。将铜皮居中贴紧在PCM2702的下面，也可以用胶水粘住。然后将PCM2702需要接地的引脚小心地向铜皮的边缘弯折，贴紧铜皮，然后用电烙铁将引脚焊到铜皮上。

注意，要使用烙铁头很尖的烙铁，若没有现成的，可以自己磨一磨，烙铁的功率不可过大，20W即可，不要超过35W，焊接的时间要短，用力要轻。

在铜皮的两端焊上一节2～3cm细铜线，用于最后连接到实验板上的地线，除了接地，还可以起到固定IC的作用。

（2）PCM2702 的电源引脚

该IC接5V电源的引脚有4根：17、22、25、27，而且在同一侧。将这些引脚小心地向上弯折至PCM2702的背部，用一根细铜丝将它们一个一个焊接起来，最后将细铜丝与5V电源连接起来（图3中实际为4.6V）。

铜丝必须很细很柔软，至少要比IC的引脚柔软，否则容易折断IC的引脚。

铜丝要留出2～3cm的长度，用于最后连接到实验板上。

PCM2702需要接3V电源（图3中实际为3.15V）的引脚有2个，以同样的方法用细铜丝连接到一起后用细铜丝引出。

（3）其他引脚

剩余的引脚不多了，间距也已经稍大了，用同样的方法，在每一个有用的引脚上小心地焊接上一根2～3cm的细铜丝。

如果有用的两个引脚刚好紧挨着，可以将其中一个小心向上弯折到和旁边的引脚成30°以上的角度，然后再焊细铜丝就比较容易了。

上述准备工作做完了，PCM2702就比较容易地安装到实验板上了。

在实验板上确定好PCM2702的位置，然后将事先已经焊好的细铜丝顺次穿过实验板的安装孔，接着一个一个将其焊

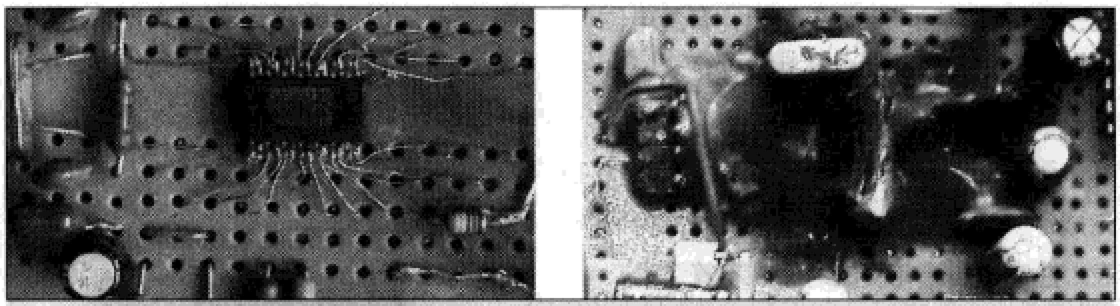


图5 PCM2702E的引脚处理方法和电路处理方法

接好就可以了，见图5左图。

焊接时注意动作要快，不然细铜丝的另一端容易脱落。适当长度的铜丝可以避免铜丝的脱落，但过长会增加干扰。

最后，为了保证“蜘蛛脚”的PCM2702长期稳定可靠，最好用电路密封胶将其密封起来，通用的环氧树脂也可以（见图5右）。注意，密封要在电路做完所有的调整以后进行，因为封起来的电路就不好修改了。

2. LM4732的焊接安装

LM4732采用TO220-27封装，引脚也很密集，很难安装到试验板上，实践中也可以采用类似处理PCM2702的方法。

LM4732的引脚有27根，其中空脚5根可以直接从根部折断。VCC脚和VEE脚各5根，除去这些脚，剩下的12根引脚稍微掰一下就可以轻松插入实验板了。具体方法如下：

用10根左右的细铜丝绞紧到一起后均匀搪锡备用，绞紧搪锡后的铜丝直径有1mm左右即可。

将VCC引脚向前向上弯折约120°（LM4732有字的一面为前），用电烙铁将每个引脚焊接到上面准备好的搪锡铜丝上。

引脚长度以短脚的长度为准，长的要剪去一些。

铜丝呈水平状态，留长5～6cm备用。

如上法，将VEE引脚向前、向上弯折约90°，长度比LM4732有字的一面高出2mm，方便将引脚焊接到搪锡铜丝上即可。

焊好后铜丝同样留长5~6cm备用。

调整连接VCC和VEE引脚的搪锡铜丝的间距到约2mm以上，以防短路。做到这里就可以接着做如下工作：

找5个贴片无极性电容，长度要一致，容量没有测试条件可以不管，只要不短路即可，耐压要大于50V。在每一个VCC电源引脚上小心地焊上一个电容，另一端小心地就近搭焊到连接VEE引脚的铜丝上。

这样不但可以改善LM4732的表现，还可以避免VCC和VEE之间短路。

现在可以开始把LM4732安装到实验板上了（见图6）。

在实验板上确定LM4732的安装位置，将剩余的12个引脚根据实验板上的孔洞位置轻微左右掰一下，使它们能够顺利穿过孔洞即可。如果困难的话，可以将LM4732的14和20脚也向上弯折一个角度，剪短，用细铜丝连接到一起，变成一个引脚。这时将11个脚插入实验板应该没有问题了。

现在可以确定VCC和VEE的位置了，VEE这里实际是接地的。确定了位置后将搪锡铜丝根据实验板孔洞的位置将铜丝弯折，刚好插入孔洞即可。

先将LM4732固定到散热片上，然后将散热片固定到实验板上，接着焊接LM4732的各个引脚。最后按部就班地焊接其外围元件。

3. 应该注意的接地问题

PCM2702及其外围电路应注意多敷地，使用实验板时可以将实验板隔行使用，空余的行就近接地，与功放部分地的连接可以在最后调试时决定。

4. 整体电路安装

先安装功放部分，工作正常即可。

然后安装PCM2702部分，安装完成后先不连接功放部分，测量一下总电流，应在50mA左右，如果正常，再与功放部分连接试听。

笔者在调试过程中遇到这样一个现象：USB状态下，静态时本底噪声极低，很难注意到，但用播放器播放音乐时有轻微的汽笛声，与音量大小几乎无关，播放器暂停或停止时没有，线路输入状态时也没有。估计是PCM2702自激所致，后通过增加接地点，调整与功放部分的接地位置，这个现象有所改善，但没有彻底消除。笔者共装了两套，这个现象都有发生，具体原因现在还没有搞清楚。

全部电路完成后，经过初步调试，就可以试听了，业余条件下不具备完善的测试条件，试听是发现、解决问题的有效方法。

笔者试听时采用两对完全相同的多媒体音箱组合起来，两分频倒相式，低音4

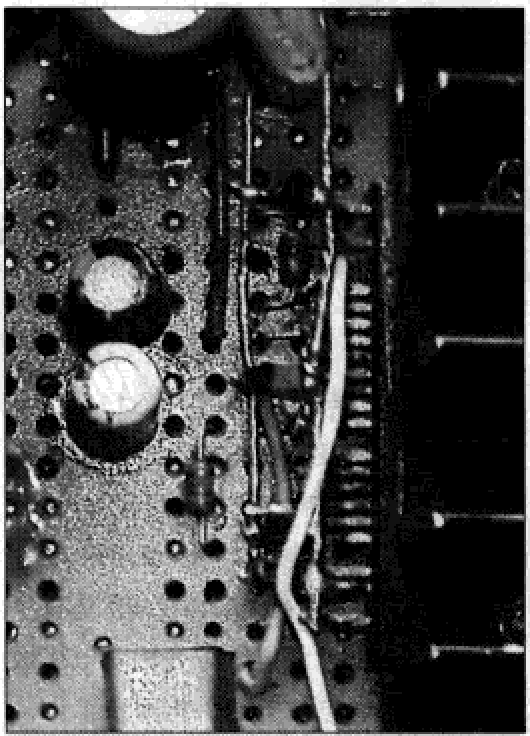


图6 焊装好的LM4732

英寸纸盆，高音1英寸纸盆，全木壳。

经过笔者的收听，听感令人满意，可以说达到了制作预期。

6. 外壳的组装

电路安装到什么容器中，业余条件下当然各有各的高招。

笔者将整块电路板先安装到一块120mm×200mm的铝板上，然后将它们一起装入一个深褐色的高档茶叶盒里，如图2所示，既美观又实用。

输入、输出孔安排在盒子的一侧。电路板和铝板通过铜柱螺丝连接，铝板用胶水直接粘到盒子底部。

为了从外面看比较美观，音量电位器没有外露，直接安装到电路板上的合适位置，毕竟在电脑多媒体系统中，音量电位器是不常用的。这样从外部不仔细看，就是一个茶叶盒子。

到此为止，一套DIY的多媒体系统就完成了。现在我们计算一下成本，见附表。注意，自己花费的时间就不算了哟。

附表　主要元器件与价格

名称	价格（元）
USB对拷线	4.0
φ3.5插口	1.0
USB插座	1.0
φ3.5双头插头线	2.5
外置电源（二手）	20.0
音箱（二手，两对）	60.0
NUF2221W1T2	3.3
MAX8866TEUA	5.0
PCM2702	30.0
OPA2364	8.0
LM4732	30.0
其他	16.0

问题与讨论

1. LM4780的供电

提高工作电压有利于提高功率输出能力，但是超过±35V是很危险的。笔者用±40V（双28V绕组）作实验时，仅仅坚持了不到半分钟，LM4732就宣布报废了（见图7）。

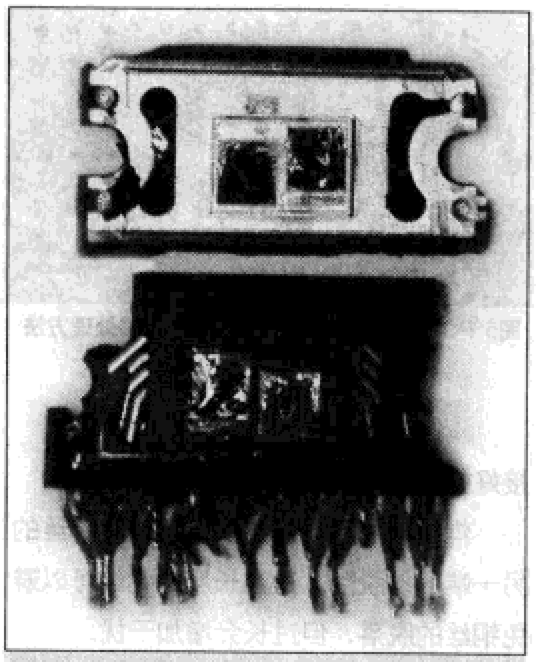


图7 坏掉的LM4732

如果是单电源供电，就不应该超过70V，笔者只是为了用PC听歌，并不需要太大的功率，尤其是为了追求小体积，散热器体积受限，加上手头现有电源的限制，仅仅用了24V。

2. PCM2702的问题

如果没有ESD保护，不但PCM2072容易“挂”，还容易“假死”，就是PC开机找不到USB音频设备，或者在正常使用过程中，无缘无故的就会没有反应。

因此，PCM2702的USB输入端加入ESD保护还是必要的，这样PCM2702就不会出现偶尔无效或者假死现象，尤其是手摸或者后级有设备接入时，开关后级放大器也容易发生PCM2702“假死”的情况，加入ESD保护就不会有这样的问题了。这样的保护电路可以自己搭建，也可以使用专用的IC，这里介绍的是NUF2221W1T2，使用它还可以省略终端电阻，就是PCM2702 的USB输入端的22Ω的电阻以及那个1.5kΩ的电阻。

尽管PCM2702的参考设计电路仅仅使用了两个二极管降压来获得3.3V的数值，而实际上，使用高素质的电源还是有好处的，尤其是用USB总线电源时更是如此。用一个LDO实现上述功能无疑是划算的，如本例所用的MAX8866。

德州仪器推出极低功耗D类音频放大器新品

德州仪器（TI）宣布推出3款模拟输入D类立体声放大器：TPA3116D2、TPA3118D2以及TPA3130D2，以满足条形音箱、汽车音响、便携式音箱（Audio Docks）以及液晶电视机等的使用需求。

这3款D类放大器主要特性与优势有：

4.5～26V电源电压可在相同电路板上实现线路供电与电池供电同步工作，延长条形音箱与便携式音箱的电池使用寿命；高效散热的 FET 支持 30W×2工作（无需散热片）或散热片 50 W×2工作（仅TPA3116D2），400kHz～1.2MHz 可编程开关速率,支持无滤波器电感器工作以及干扰消除功能，可实现无失真的清晰音频等。

分体式“可变声道”功放的设计与制作

◇吴刚

自从研制了第一台“可变声道”Hi-Fi功放以来，我对此的兴趣日益浓厚。该功放内设有多组高精度的放大器，这些放大器可并联工作或独立输出，在确保实现优秀的双声道Hi-Fi音质的基础上，还能完美支持多声道的高保真性能，将各种高保真音乐碟片都播放出最佳音质，这也是吸引我持续研制这种功放的原因之一。

这种功放结构没有名机实例可供参照，为了做好它，我已试制了不少这类合并式功放，积累了丰富的经验。这次制作更高级的分体式“可变声道”Hi-Fi功放，希望实现几个设想：一是用全对称放大电路和无负反馈技术制作出音质优秀的作品；二是利用分体机内宽阔的空间，大量地使用精品元件，让功放的音色尽善尽美。最后，用这台分体功放组建多声道PC Hi-Fi系统，自由自在地享受各种Hi-Fi音乐。

设计思路

随着科技的发展，Hi-Fi音乐的来源十分广泛，除普通的CD光盘外，还有HDCD、XRCD、HQCD等高品质的CD光碟，也有DTS CD、SACD、DVD AUDIO、蓝光碟等多种5.1声道音乐光盘，以无损音乐为主的PC Hi-Fi更成为当前的热点。丰富多样的音乐早已不限于双声道立体声了，因此，制作一台完美兼顾双声道和多声道音质的Hi-Fi功放是充满乐趣和挑战的事情。

在Hi-Fi功放中，功率放大级含有功率管、散热片、滤波电容和变压器等大体积的元件，占了功放的大部分成本。现有功率放大级电路结构是固有的，在设计之初就已决定了功放声道数量和功能特性，要么设计双声道Hi-Fi功放，要么做5.1声道

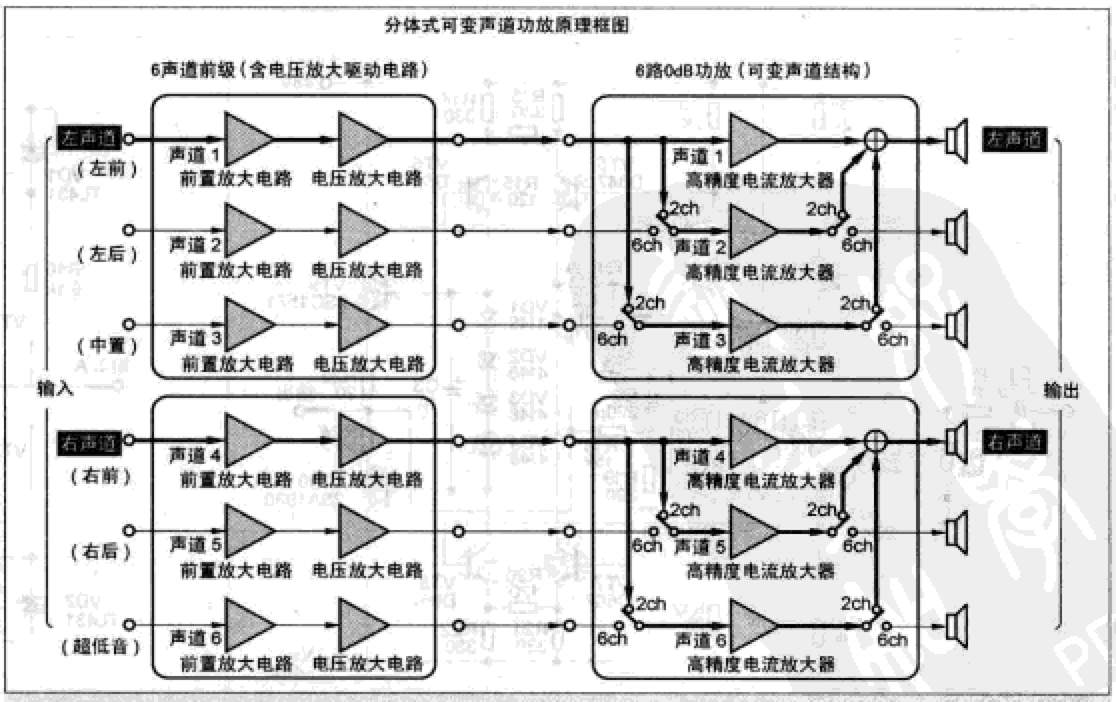


图1 分体式可变声道功放原理框图

（或更多声道）AV功放，二者选其一。5.1声道AV功放在播放Hi-Fi音乐时，只有两个主声道在工作，其余声道的功率元件均闲置着。靠主声道有限的功率元件和散热器，很难实现高电流输出和甲类放大等Hi-Fi功放常用的技术，不利于提高音质。而双声道Hi-Fi功放是无法表现多声道音乐的，这就形成了Hi-Fi和AV两种不同特点的音响系统。

我构思的“可变声道”功放的功率放大级是可活动的，当播放立体声音乐时，其多个功率放大级电路可合并成为双声道Hi-Fi功放。所有大功率管、散热片、滤波电容都在两个主声道里工作，最大输出电流可跃升数倍，输出内阻显著降低，可轻松地推动低阻抗音箱。此时所有散热片共同发挥作用，输出管可工作在大电流甲类放大状态，彻底消除交越失真和开关失真，将音质提升到极致。而在播放多声道音乐时，功放的多个功率放大级切换成各自独立工作，成为多声道Hi-Fi功放，可高质量地播放环绕立体声音乐。这样设计就使双声道与多声道的性能自然地融合在一起了。

按照以上思路，我设计了这台分体式“可变声道” Hi-Fi功放，整机原理框图如图1所示，前级有6个前置放大电路和6个电压放大驱动电路，每个声道的电路完全相同。后级功放由6个高精度电流放大器电路组成（以下简称为0dB功放电路），在每个0dB功放电路前后分别设有信号切换电路，控制这些0dB放大器合并输出或独立输出，组成了“可变声道”结构。由于采用无负反馈设计0dB功放电路，取消了前后级间的环路反馈连线，简化了电路，这种功放的结构也更加明朗。

电路原理

1. 6声道前级设计特点

与通常的Hi-Fi前级不同，这台分体机的前级中包含了前置放大电路和电压放大驱动级，前级一步完成了整个功放的电压增益，后级则采用无负反馈0dB功放电路，只放大电流推动扬声器。无负反馈电路对元件品质是非常挑剔的，这在无形中就增加了制作成本，因此这类设计往往只在昂贵的高级Hi-Fi功放中见到，如国产Hi-Fi名机钟神JA-10/JA-200、瑞士的darTZeel 108等。

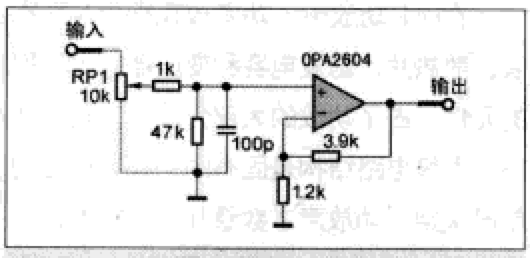


图2 前级中前置放大电路

前级中前置放大电路（见图2）主要由运放构成，采用运放做前置放大具有性能高、失真小、音质好的优点，许多Hi-Fi名机都采用运放来担任前置放大，而且运放的一致性很好，更适合于多声道前级。

电压放大驱动级电路是功放的电压放大部分（见图3），它采用两级差分全对称放大电路，输入信号经两级放大就可获得足够的开环增益，有利于简化补偿，提高稳定性。输出部分由VT9，VT10构成，VD1～VD4为输出管提供2.5V的偏置电压，使VT9，VT10工作在甲类状态，具有很低的失真和很强的驱动能力。前置放大级和电压放大级设计在一起，使得输出到后级的信号电压幅度很大，具有很好的抗干扰能力，有利于提高信噪比，让声音细节展现无遗。

前级采用了2个洼田式高速稳压电源，每个稳压电源为3个声道的前级板供电，左右两侧完全独立供电，充分保证左右声道的信号分离度。

2. 可变声道后级的设计特点

新型0dB功放电路是本机的核心电路

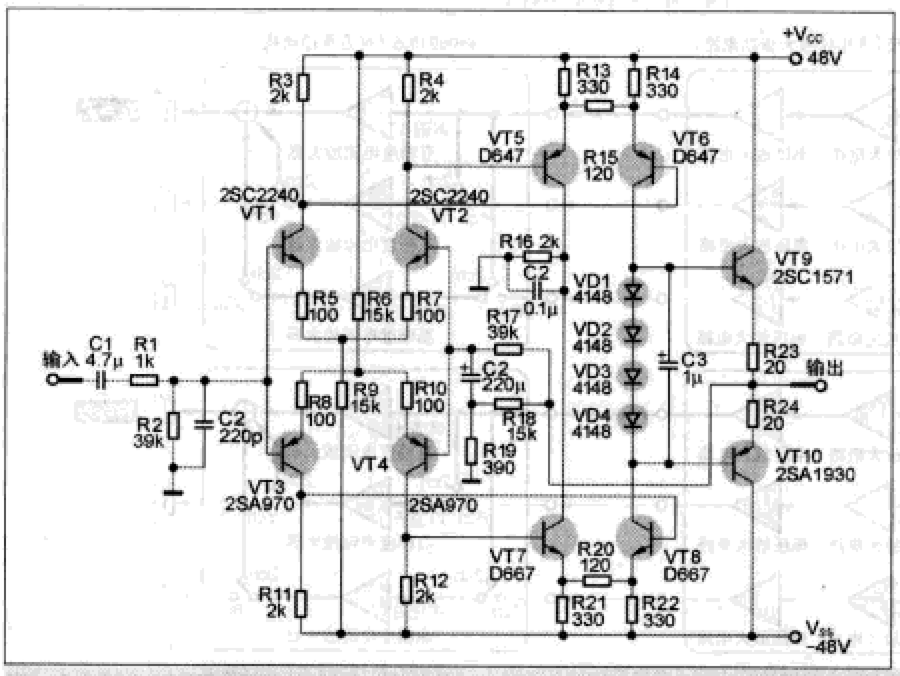


图3 电压放大驱动级电路

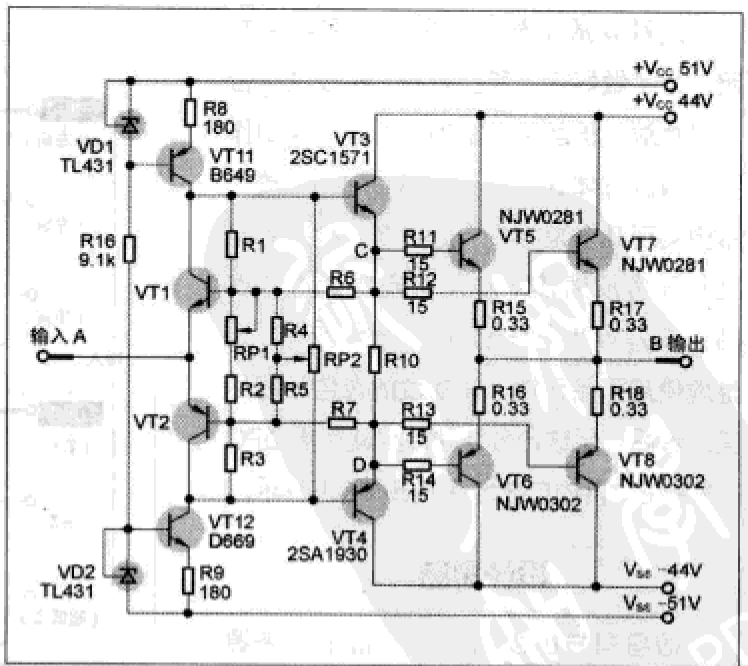


图4 新型0dB功放电路

（见图4），由共基极放大器构成直耦合电路，后接达林顿电路。其中VT1、VT2是共基极放大管，也是偏置管，VT1、VT2分别与输出管VT5、VT6紧贴在一起，实现准确的温度补偿。R1、R2、R3、RP1是偏置电阻，调节RP1可以改变输出管的工作点，R6、R7是反馈电阻，反馈输出管的基极电压。

0dB电路中共基极管VT1、VT2的实际增益接近于1，其主要作用在于传递输入信号电流，并在输入信号电压上叠加上正负偏压，将输出管VT5、VT6、VT7、VT8的基极电压准确地钳制在输入信号±0.7V的范围内，使所有输出管的基极电压都与输入信号保持同步。由于VT1、VT2通过反馈电阻R6、R7与功率管共享基极偏压，当输出管基极电压有轻微漂移时，VT1、VT2的负反馈环路会强烈地抵消各种漂移的趋势，保持输出管的基极电压稳定同步。

当0dB功放电路并联工作时，各功放的输入端并联在一起共享输入信号。各声道VT1、VT2的发射极的输入信号电压完全相同，迫使输出管基极电压与输入信号保持同步，这样每个0dB电路的输出电压也完全一致了。而工作温度、元件离散性等因数引起的偏差，可用误差校正电路消除，保证功率管基极电压的同步精度，使输出电流更均衡。其中，RP1可改变输出管的偏压，独立调节每组输出管的静态电流。RP2可微调输出的中点电压，将每个0dB电路输出的中点电压调节成相同值，消除0dB电路输出端之间的电压差值。实际制作中，在输入端并联时各个0dB电路输出端的电压差值可调节成0mV，经长时间使用后，实测中点电压的最大差值未超过±1.5mV，比功率管直接并联的差值还小。0dB功放电路的输出管偏压控制精度很高，静态电流很稳定。由开机时的冷态到正常工作状态，散热片的温升达20℃以上，而实测输出管的静态偏流的变化未超过9%，显示出该电路的良好性能。

3. 放大器并联使用存在的问题及对策

让功率放大器精确稳定地并联工作是件富有挑战性的事情。并联工作的放大器需要有很好的一致性，普通的功放电路很难达到这样精密的要求，采用功放并联技术的商品机十分少见。因为放大器并联时其输出端会相互形成负载，放大器除了输出正常的负载电流外，还可能因互为负载而产生有害的“短路电流”。特别是功率放大器的输出内阻极低，若某一放大器的输出电压有微小的偏差，就会引起较强的短路电流，轻则造成放大器振荡发热，影响音质，重则可能瞬间烧毁输出管。这是功放并联电路面临的主要风险和难点，也是我最有兴趣研究的问题。只有设计极为精密、可靠并具备优良的一致性和稳定性的功放电路，才能使每一时刻的输出电压完全一致、输出内阻相同、输出电流均衡，从而获得并联输出的优点。

普通的功放电路放大级数多，开环增益高，不利于提高一致性。若在输入级产生了微小偏差，会被放大电路放大数十倍（增益系数），使放大器输出端产生更大误差电压，所以开环增益较高的功放并联的难度也大大增加。在实际应用中，比较成熟的方法是精选稳定性高、一致性好的功率集成电路并联，如美国Hi-End名牌Jeff Rowland Model 10、11、12等型号。采用多枚LM3886集成电路并联，每枚IC的电路中设有增益微调电位器，输出端还串联有均流电阻，用以均衡输出电流，让多枚集成电路并联使用，取得顶尖的音质效果。而常规的分立元件功放很难达到并联工作所必须的一致性和稳定性，即使是名牌功放也不宜盲目地并联使用，因为同样有烧毁功放的危险。

本机设计的0dB功放电路无电压增

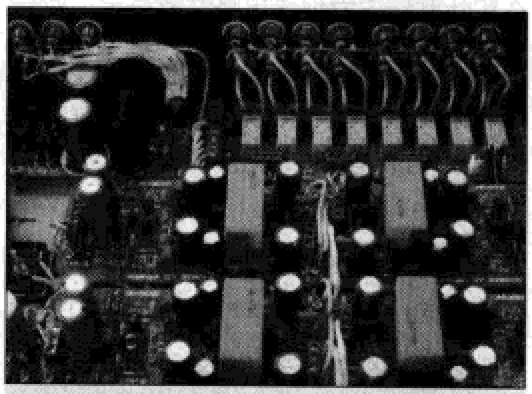


图7 考究的元器件

图5 前级内电路板按左右方向排列

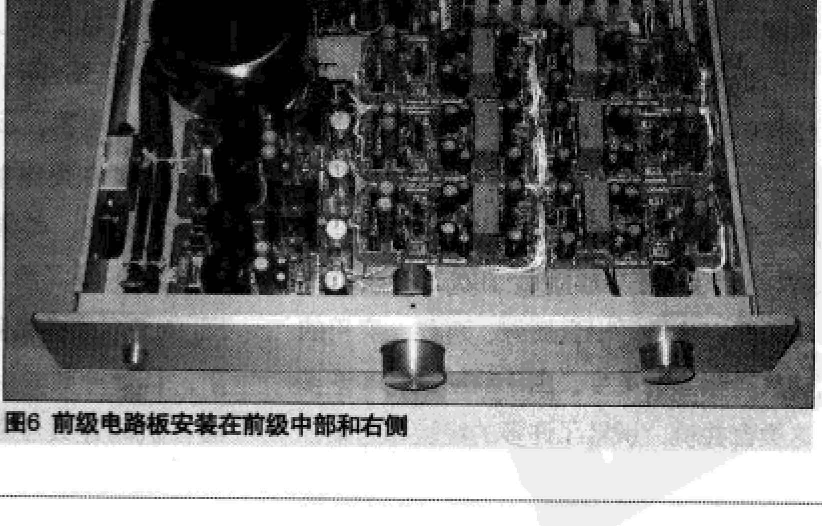


图6 前级电路板安装在前级中部和右侧

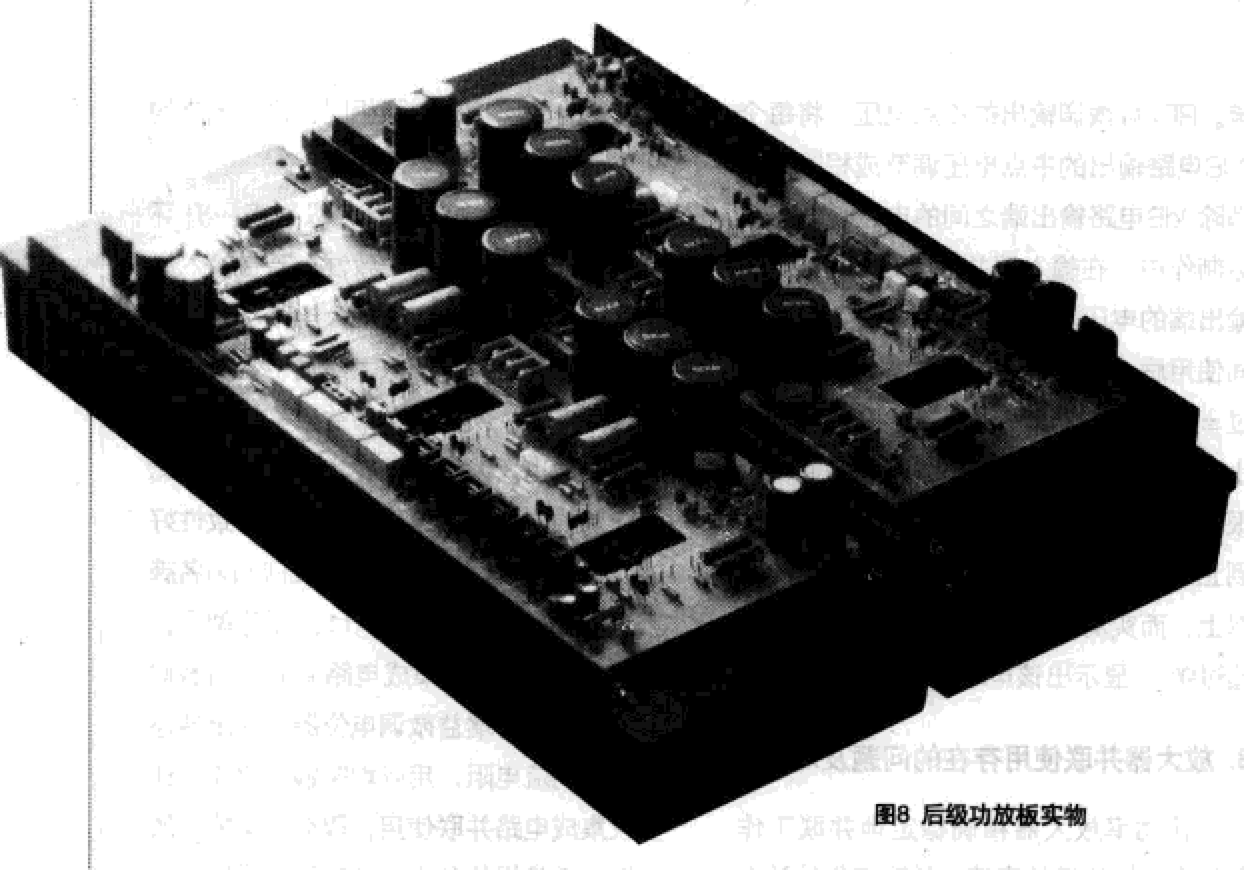


图8 后级功放板实物

益，电路简练，一致性和稳定性良好。更为重要的是，该电路可精细地调控输出管的偏流、中点电压、输出内阻等功能，主动消除各项偏差，取得更好的均流效果，为分立元件制作可并联功放提供了基础。在实际制作中发现该电路性能稳定，对元件的离散性不太敏感，一般使用中点和偏流这两项调节就可以了。当播放音乐时，3路0dB功放电路并联在一起，每路0dB功放只承担1/3的负载电流，显著降低了末级功率管的输出电流摆幅，减少了非线性失真。同时，分立元件功放很容易实现高电流输出和甲类放大状态，这也是IC并联功放不易做到的，因此更有潜力获得理想的音质。

制作过程

绘制印制电路板是相当重要的过程，新颖的理念和优良的音质要靠设计合理的电路板来实现。设计音质好、工艺漂亮的Hi-Fi功放要花不少功夫，设计多声道功放则更为复杂。其结构紧凑、元件密度高，要妥善解决电磁兼容性和均匀散热等问题，可变声道功放综合了以上的技术要求。要一步设计出音质好、可靠、实用的功放有相当的难度，由于前期试制了许多这类合并机，积累了许多的经验和方案，各种线路和布局已多次实验过，就使得分体机的电路板设计变得水到渠成了。本机全部采用单面板设计，没有多层板过孔脱落等问题，各个元件的排列经过仔细考虑，尽可能让音频信号走线最短化，不必大面积覆铜也能取得良好的信噪比。主要电路板有前级电压放大板、后级功放板、输出保护板，上述3块板子的PCB图可在无线电官方网站（www.radio.com.cn）下载，除此之外还有输入信号切换板和控制板等。

前级内的电路板按左右方向排列布局，每声道一片电压放大板，总共6片（见图5），分别安装在前级中部和右侧（见图6），输入信号切换板靠近RCA信号输入端，变压器及稳压板安装在靠左侧，使干扰源远离信号放大区域，有利于提高信噪比。在实际制作中着重追求音质效果，大量使用了各种精品元件（见图7）。信号耦合电容采用瑞典的RIFA 420系列MKP电容，反馈电容采用日本ELNA棕神音频专用电解电容。其他部位使用了美国丝碧、美国化工、德国WIMA、英国NOVER等名牌电容。电阻主要使用美国DALE军品金属膜电阻和美国AB碳质电阻。音量控制采用日本松下6联音量电位器，机内连线全部使用特富珑镀银信号线，减少信号损失。由于信号切换继电器的线圈紧靠着最微弱的输入信号，这里使用了两级稳压电源为信号切换继电器供电，消除了线圈串扰的可能性。前级电源变压器采用特制的160VA环形变压器，并用优质硅钢带加强磁屏蔽，再扣上漂亮的不锈钢的牛罩。前级内的220V电源线均套上带屏蔽的避振网，并串接了日本TDK电源滤波器，减少振动和干扰。

后级采用AR998大型机箱，规格为宽485mm×深490mm×高180mm，机箱净重17.5kg。内部采用对称布局，两侧巨大的散热器上各安装1片后级功放板（见图8），每块板上含有3个声道0dB功放电路，输出保护板安装在扬声器接线端子附近。机箱的中部安装了2枚特制的800VA低磁漏无噪声专利变压器，每枚重量达到9.7kg，各负责3个声道的供电，使功放的左右两侧电路板完全独立供电，彻底保证了左右声道分离度指标。

后级功放（见图9左）使用了总计140000μF的滤波电容，共24只安森美大功率管。功放板上无极电容主要有德国WIMA、ERO，荷兰PHLIPS等品牌，电解电容主要采用英国NOVER、德国ROE（见图10）、美国化工等品牌。小容量电容主要采用日本双信高精度银云母电容，电阻主要用美国DALE金属膜电阻。机内音频接线均采用英国鲨鱼OFC高级线材，采用富珑镀银信号线传递输入信号。功放设有软启动线路，避免了开机的冲击电流，保护电路采用单独的电源供电，由微电脑程序控制，动作灵敏可靠，妥善地保护音箱的安全。后级重43.5kg，前级7.5kg，整机总重51kg。后级输出额定功率为：80W×2或80W×6（甲乙类）。

当听立体声音乐时，后级所有功率元件（12对输出管、6对推动管）全部合并在两个主声道。每声道6对大功率管并联工作在甲类状态，可承受60A峰值输出电流，推动低阻抗音箱轻松自如，达到极好的音质。在听多声道音乐时，功放切换成6声道等功率功放，每声道两对大功率

管，最大输出电流仍然高达20A。面积巨大的外置式散热器，可承受6个声道同时工作的高热量，每个声道依然具有Hi-Fi功放的音质，可高质量地播放多声道音乐。

完成后的制作如图9所示，功放刚调试正常时就有很好的信噪比，音量开到最大时6个声道噪声都很小，功放的音质和解析力也很好，各项表现符合预期。由于这台功放的设计制作和用料都下足了功夫，我对它的期望值自然也很高，希望它能发出各个方面都能精准完美的声音！之后一段较长的时间里，我对比聆听了多款名牌Hi-Fi器材，并按照自己的理解精细地调整功放的每一项声音细节，其间搭配了多款音箱。初期使用了博良牧歌、KEF IQ30、丹拿Focus 140等书架箱试音。后期则用KEF XQ40、芬兰之声Amphion Argon3 L、丹拿Contour S3.4等落地箱听了很长时间，历经多轮调试修正，最终将这台分体式功放的声音调整到满意的地步。

图9 完成后的制作

实际试听

实际试听时使用了OPPO蓝光播放机、HTPC、1704K×4音频解码器（接蓝光机的数字同轴输出）、KEF XQ 40系列音箱、10英寸有源低音炮以及高清投影机等设备。

起初试听了一些Hi-Fi音乐，分体功放的声音明快活泼，高频纯静纤细，中频饱满润泽，低频深沉有力，表现出宽阔的声场和良好的动态。相比之下，现场的名牌Hi-Fi功放在气势、力度和细腻度反而显得稍弱。

图10 德国ROE电解电容

感受了优美的音乐，接下来用蓝光机播放安德烈·波切利音乐会、蔡琴演唱会及其他的DTS音乐碟，试了一下多声道音乐的表现力。

安德烈·波切利用激情洋溢充满活力的歌声娓娓倾诉，那优雅自信的神采令人入迷。同样用AV功放看这段时，声音细节被“吃掉了”不少，欢呼的冲击力减弱，临场感稍欠。用普通的Hi-Fi功放播放这一段时，声音细腻柔和、乐感丰富，但声场在两个主音箱之间，是二维平面的，与环绕声的感染力相距甚远。

多声道音乐得到了有力的表现，再用这台功放试验了高清电影《阿凡达》等电影。播放影片时这台功放推动了丹拿Contour S3.4主音箱，音质相当好，解析力高，力度强劲，充分发挥了丹拿音箱的优势。

总的来说，这台功放音质良好、性能稳定、可靠实用，这台分体式可变声道功放算是制作成功了。

器材搭配及使用方法

可变声道Hi-Fi功放与传统的Hi-Fi功放特性不同，与之搭配音源和音箱需要作出调整，以便可变声道Hi-Fi系统发挥出最佳的性能。由于市场上各类产品纷繁复杂，现考虑了几种简洁的器材搭配，仅供参考。

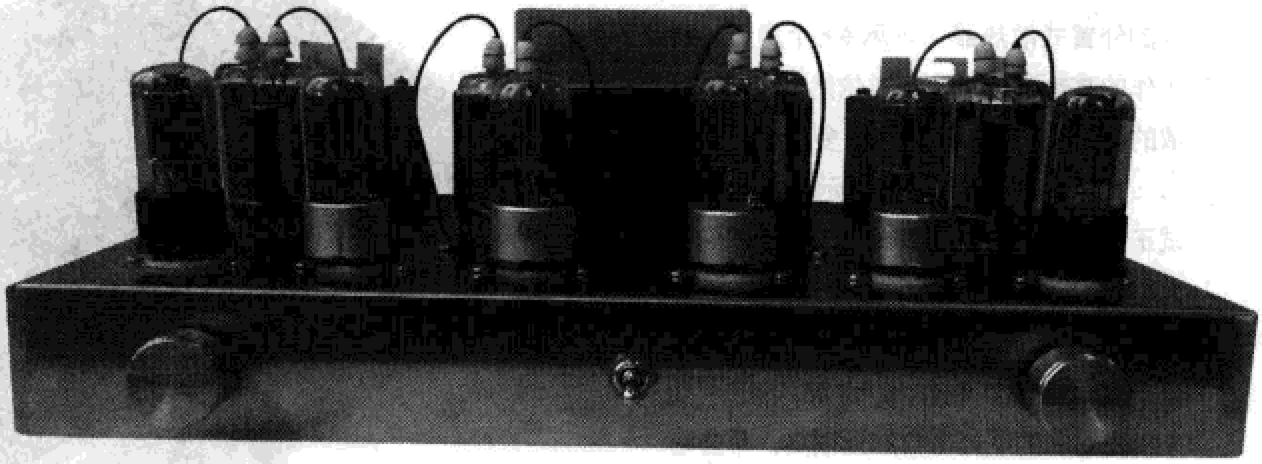
纯音乐欣赏：音源可采用索尼 SONY SCD-XA1200ES SACD播放机。碟片支持：CD、SACD（立体声/多声道），带有光纤数字信号输出接口、同轴数字接口和模拟5.1声道模拟输出接口。音箱可搭配KEF XQ40系列落地箱，KEF中置、环绕音箱，另配10英寸有源低音炮即可。

影音发烧配置：音源可搭配OPPO BDP-93 3D蓝光SACD兼容机，几乎可兼容所有的光碟，带解码带，5.1或7.1声道模拟输出接口。音箱可搭配KEF IQ 90系列落地箱及KEF中置、环绕箱、10英寸有源低音炮。使用惠威T1000F系列5.1声道Hi-Fi音箱也是很好的。

影音高烧配置：搭配OPPO 95 监听级3D蓝光SACD兼容机、 HTPC（家庭影院电脑）、PCM音频解码器和DTS影院解码器，来自光碟、硬盘和网络上的所有音频格式都能播放，并且都能达到最佳音质。由于分体式功放推力充足，高烧玩家可以试试丹拿Contour S3.4系列主音箱和中置、环绕音箱，大功率有源低音炮也可成对配置。

◇江放　刘华栋

FU-19推挽功放制作



FU-19是国产大功率发射双四极功率电子管，主要作用在30MHz以下功率放大和振荡。其结构坚固、阴极粗、大电流发射能力强，采用屏极瓦片式开放结构，管芯散热性好，管壳工作温度最高可达200℃，体积大小适中，将其应用在音频功率放大中非常合适。

FU-19推挽功放简介

图1所示是FU-19推挽功放外观，300W电源变压器居底座后半部，两只150W输出牛左右对称放置，为了降低高度，全部采用卧式安装。

4只FU-19在底座均匀对称安装，前部为4只6N8P和两只6N9P对称均匀布置。其余元件全部安装在底座内部，整个功放看上去简洁明朗，前面板为电源开关以及左右对称的音量和平衡电位器。后面板上，分别设置了RL输入端子、0-4Ω-8Ω输出端子、电源进线插座。

FU-19功放电路简介

图2所示是FU-19推挽功放电路图。该功放由五级电子管构成，输入电压放大级由中μ管6N8P担任，组成共阴放大电路，单级电压增益为14dB左右，将输入的音频信号进行一定幅度的提升。采用中μ三极管，主要是加大输入级动态范围。现代音源，如CD机，信号输出幅度达1Vp-p，如采用高μ三极管动态范围窄，易出现失真，而且输入级要求失真度非常小，同时阴极又不接旁路电容，利用电流负反馈改善本级失真，进一步提高保真度，不用电容器还可以消除电容器的染音效应，提高了保真度。

倒相级由另一半6N8P组成屏阴分割式倒相电路，输入电压级的信号直接耦合到栅极，利用三极管工作时屏极和阴极输出的电压信号相位相反，而在屏极和阴极输出端得到幅值相等而相位相反的电压信号，由于本级是阴极输出器，电压增益为0.9dB，这种倒相方式，一般采用阴极负载电阻和阳极负载电阻相

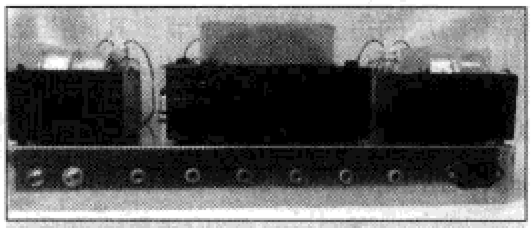


图1 FU-19推挽功放外形图

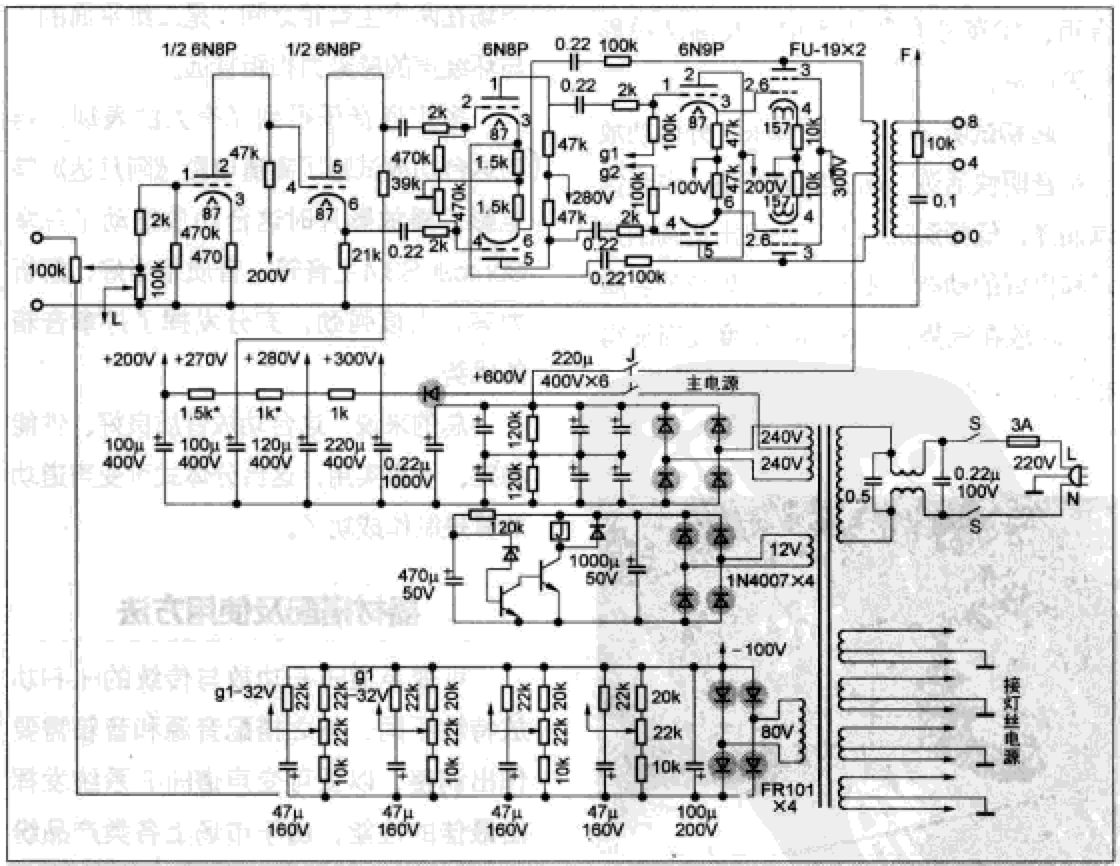


图2 FU-19推挽功放电路图

等的方式，严格来说难以达到两路输出电压相等。因为阴极输出信号内阻远低于阳极输出信号内阻，下级耦合电路RC的接入分布参数等，对低内阻的阴极部分无影响，却使高内阻阳极输出电压降低，因此设计时阴极负载电阻小于阳极负载电阻，以求全音域内的平衡。

第三级双路平衡驱动放大器由6N8P组成，由于输入放大级采用中μ三极管，倒相级采用屏阴分割式无电压增益，电压放大幅度又不足以推动功率放大，故需要加入驱动放大级。由于驱动放大级是大幅度信号，所以6N8P作为首选。该电子管组成驱动放大电压，增益14dB左右。为了扩大动态范围，需较高屏极电压，所以屏极负载电阻不能取得太大，选20kΩ左右。从6N8P栅极输入6Vp-p，输出就可达到56Vp-p输出信号，能很好地推动末级功率放大级。

第四级阻抗变换级，由图3所示的6N9P电子管组成阴极输出器，主要目的是降低驱动放大级的输出阻抗，使之更好地推动功率放大级。同时采用与输出级栅极直接耦合，有效地消除由于功率束射四极管所引起的相位失真。信号栅极被阴极电子束阻挡，电子束打在栅极上形成感应电动势，对输入信号的影响是提高了输入阻抗，降低了对前级输出信号的功率要

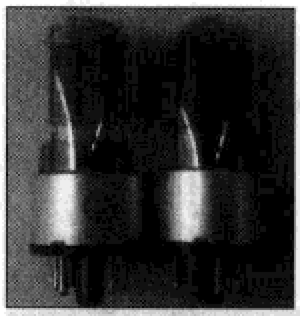


图3 6N9P电子管

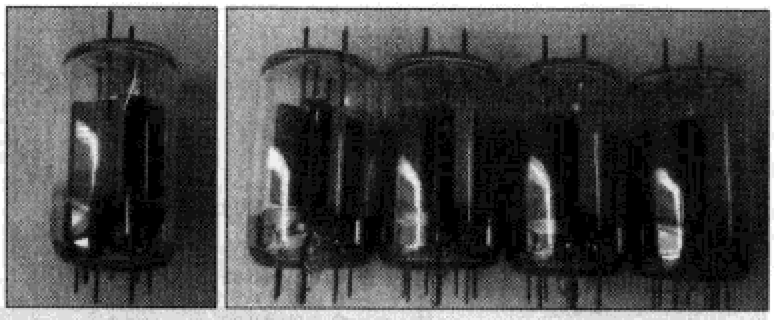


图4 FU-19电子管

求。这样一来，低频力度得到加强，下潜更深，并提高了对信号的处理能力，改善了失真。

第五级功率输出级，由一对如图4所示的双束射功率四极管FU-19担任，并由该管组成推挽式功率放大电路，采用固定栅偏方式，有专门的负栅压电路提供。FU-19为发射用双四极束射功率管，将其应用在音频功率放大器，必须设计其工作参数，特别是屏极负载阻抗和静态电流的选取。根据基本数据，该电子管参数与FU-25基本参数相近，具体参数为，屏极电压为600V，第二栅电压为300V，第一栅电压对应屏流为36mA时，电压为35V左右，最佳屏极负载阻抗为$Xl=4Va/Ia=(4\times600)/0.12=20k\Omega$，由于是双束射四极功率管，两管并联，$Xl=(4\times600)/(0.12\times2)=10k\Omega$（$Ia$最大阴极电流）输出功率75W。由于FU-19最大屏极耗散功率为2×20W，最大第二栅耗散功率为7W，均比FU-25大1倍左右，其输出功率强劲，能很好推动现代大功率、低灵敏度的音箱，一改胆机软绵绵的现象，很有石机功放力度强劲的效果。

为了提高功放整机的各项电器性能，减小失真拓宽频响，负反馈是必不可少的。但对负反馈的影响，不同的人有不同的认识，不过有一点是公认的，那就是负反馈是减小失真的主要手段。采用大环路负反馈引起的相位失真是负反馈对电路稳定性的最大影响，为此在推动级电子管6N8P阴极与功率输出级屏极之间设置电压负反馈，同时电压放大级自身电流负反馈。这种局部负反馈能很好地减小失真，同时也能避免采用大环路负反馈引起的相位失真，使放大器对快速变化的信号（如方波信号）的处理能力得以提高。从而改善大幅度信号

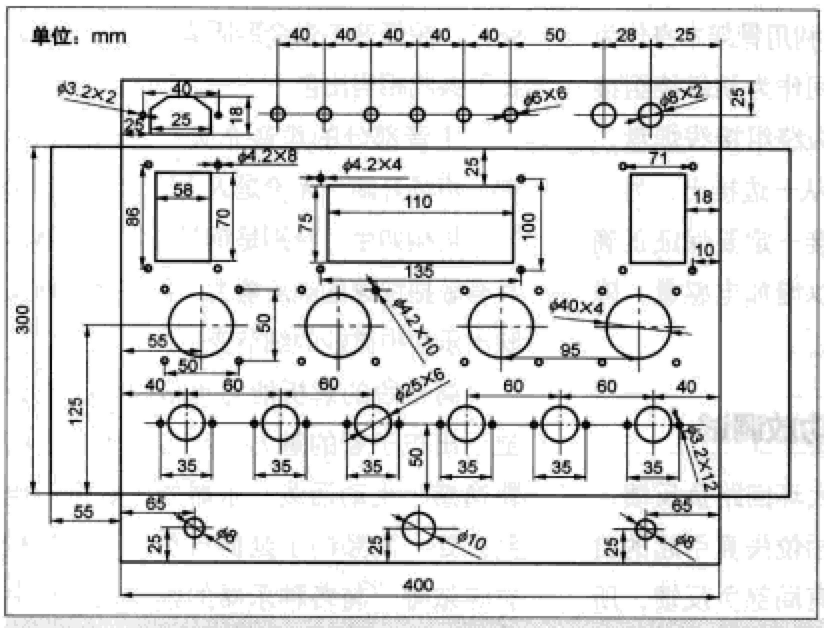


图5 FU-19功放底壳加工图

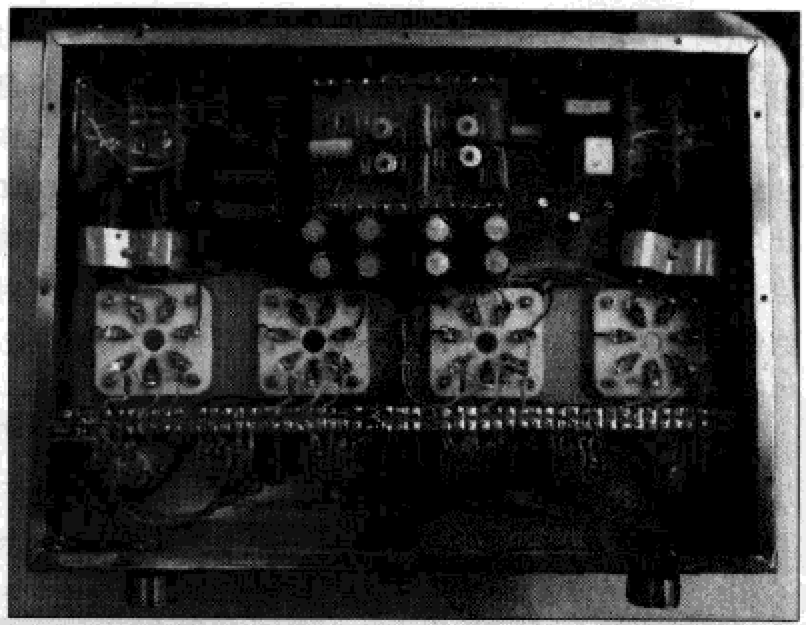


图6 功放内部结构图

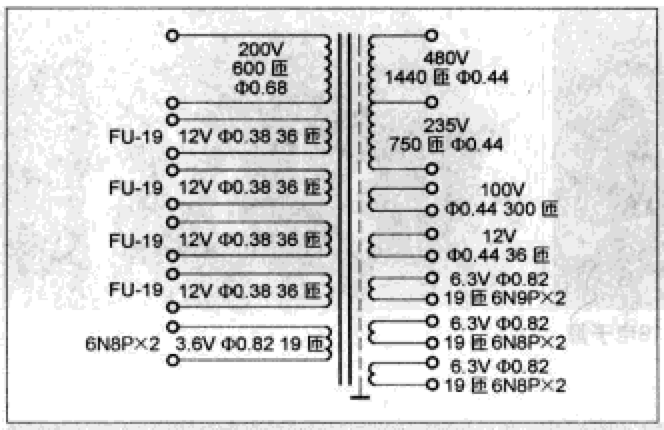


图7 电源变压器绕制参数

注：电源变压器参数为铁心横截面积50mm×60mm，功率350W。

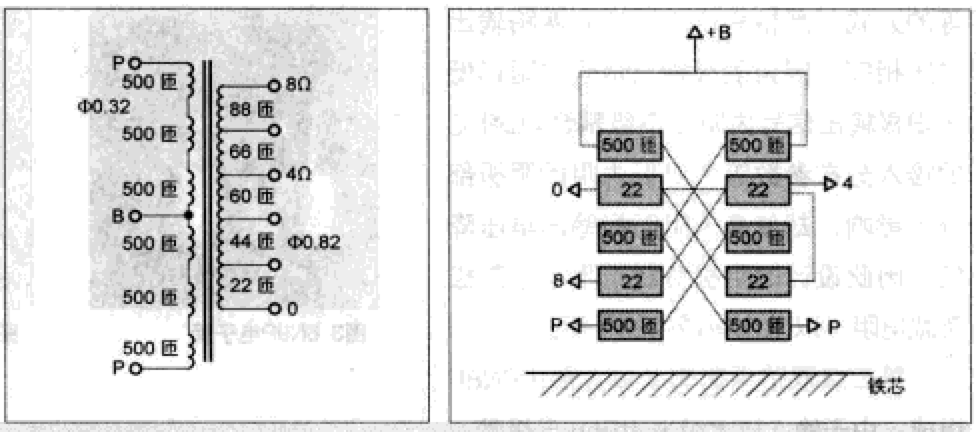


图8 输出变压器的绕制示意图

输入时的线性，避免大幅度信号失真。

FU-19推挽功放制作

图5所示是功放底壳加工图，底壳尺寸为长400mm×宽300mm×高55mm，在电源变压器和输出变压器中间设有电源滤波和电压延时器组件，600V、300V电源整流器，滤波电阻组件。负栅压组件设置在电源变压器下部，滤波电容安装在3块组件上，图6所示是功放内部结构图。内部采用传统的手工搭棚焊接方式，方便各级间的耦合，并能按最近的方式连接，消除干扰。机内走线采用彩色分线，以便识别。安装调试完成后进行分类扎结，沉底布置，走线清晰、有条理。

电源变压器制作

电源变压器采用环氧氟树脂玻璃纤维板制作，厚度为2mm，保证强度和绝缘性能，绕制参数如图7所示。由于采用卧式安装，利用骨架本身作为各线圈绕组引出线焊接点。一边作为变压器高压绕组输出焊点，另一边作为灯丝低压绕组输出焊点，这样变压器显得简洁、美观。整机布线清楚、直观、可靠。同时留出了变压器中间安置负栅压组件位置的空间。

下面谈谈输出变压器的制作。输出变压器质量的好坏直接关系音质的好坏，而且输出变压器的制作也是胆机制作中的一个难点。如果直接购买变压器成本很高，但是经过仔细分析，实际上手工制作并不很难，在大多数情况下自己制作的输出变压器都能够满足要求。输出变压器的制作工艺多种多样，制作理论也各有所见，本人通过多年的实践，认为只要有足够的电感量和小的分布电容就能完全满足要求，为此我选取较大截面积的铁芯和分段分层夹绕工艺来制作。

绕制示意图如图8所示，其中铁芯截面积34mm×6mm，初级阻抗10kΩ，次级阻抗0-4Ω-8Ω。初级匝数1500×2=3000匝，分成500匝一段，共6段，初级线径Φ0.32mm高强度漆包线，采用分段密绕方式，主要降低分布电容。次级匝数22×4=88匝，60匝处抽头作为4Ω输出端，次级线径Φ0.82mm高强度漆包线，分4段平绕，每段用两层0.05mm的聚酯薄膜和一层电工0.02mm绝缘纸作电气绝缘。变压器的骨架采用1mm的环氧氟树脂玻璃纤维制作，利用骨架本身作为各绕组接线焊盘，中间作为初级绕组接线焊盘，两边作为次级绕组接线焊盘。为了识别，0-4Ω-8Ω从一边接出，另一边为绕组接线端。连接一定要保证正确性，铁芯采用对插，以增加电感量，降低分布电感，减小漏磁。

FU-19 推挽功放调试

本功放由于没有大环回路负反馈，不会出现烦人的瞬态相位失真引起的自激。而且由于各级都有局部负反馈，所以各级工作稳定，不会出现自激振荡。另外各级工作点分别调试，相互牵连较小，所以调试非常简单。首先调节功率级，静态工作电流为30mA左右，由于采用各输出管独立负栅压偏压调节电路设计，对功率管的配对要求也低，只需调节各自的栅压电位器，测量各阴极电阻的电压为0.3V即可。其次调节前置电压放大级供电降压电阻，使倒相阴极—栅极电压为8V，反复调节两次就完成工作点调试。本机频率响应主要取决于输出变压器制作水平，只要制作得当，频响完全满足要求。

FU-19推挽功放试听效果

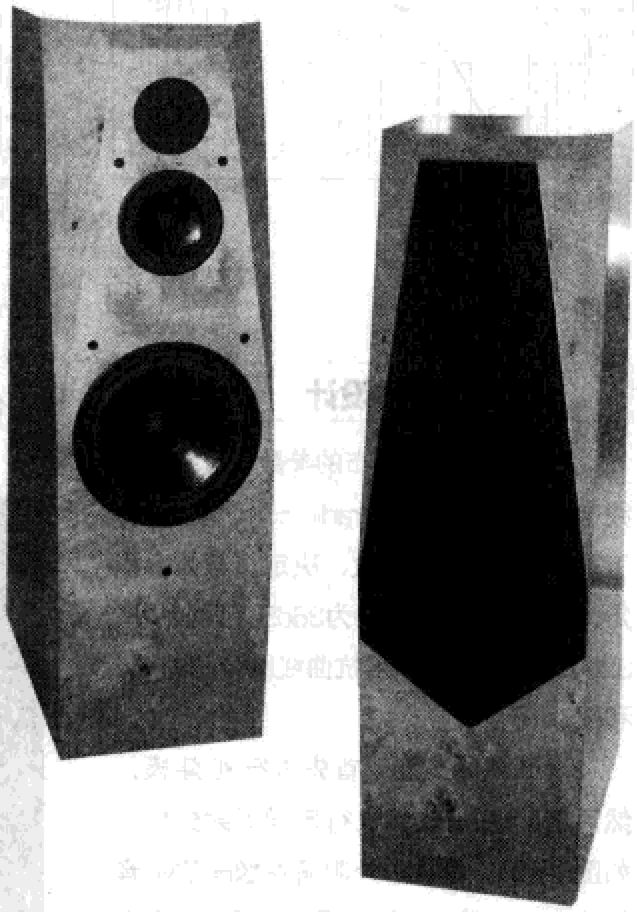
FU-19推挽功放的低音饱满浑厚、干净利落，毫无混浊不清的现象存在。采用该功放播放大动态的交响乐与现代流行乐、摇滚乐节目时，充满震撼力，节奏感强烈，超低音下潜令聆听者满意，低音大提琴共鸣相当出色。

中音部分的声音充实，音乐韵味浓郁，声场开阔，无论是人声、弦乐、铜管乐都栩栩如生，特别是钢琴与打击乐器，具有敏捷快速的响应能力，能够准确地反映出乐曲中微妙的细节变化。

高音段的解析能力也很出色，充分显示出电子管的魅力。高音清晰且富有飘逸感，生动活泼，乐器的泛音余韵恰到好处，高频向上延伸自然，弦乐的松香味浓郁，将各种乐器的细节表现得淋漓尽致。

一款高品质大型三分频落地式音箱的设计制作

◇名琴



一直以来，从各种刊物上见到的关于书架箱制作的项目比较多。诚然，书架箱具有设计制作相对简单、音色表现清秀、不占空间、易于摆放等优点。但是还有很大一部分音乐爱好者的房子都比较大，一对小音箱放上去略显单薄，声音方面无论是全频响应能力还是动态表现都明显不足。本文将介绍一款以听音乐为主，兼顾AV影院功能的高品质大型三分频落地式音箱（笔者为其命名为M20）的制作。

单元选择

由于是以听音乐为主的，本音箱全部采用挪威原装进口的SEAS（西雅士）高素质进口单元，主低音采用10英寸口径的H1305（见图1）。

此款单元厂方公布的频响曲线如图2所示。

中音为5英寸专用中音单元H1262，高音为1英寸球顶H0831，如图3所示。

厂方公布的H1262的频响曲线如图4所示。

这3款扬声器单元，H1305和H1262为SEAS久负盛名的涂胶纸盆单元，此种盆的人声、弦乐极为纯正，声音素质早已得到广大烧友的认可。而高音之所以选择这款价格不贵的H0831，主要是看中此单元非常平滑的频响曲线（厂方公布的频响曲线如图5所示），能够在不太复杂的分频电路下达到很好的平衡感，减小设计制作难度。三分频中高音分频点比较高，相对高音单元的选择余地要

图1 10英寸口径的H1305

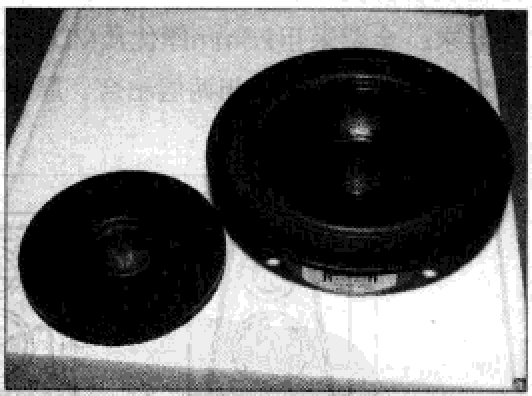


图3 中音、高音单元

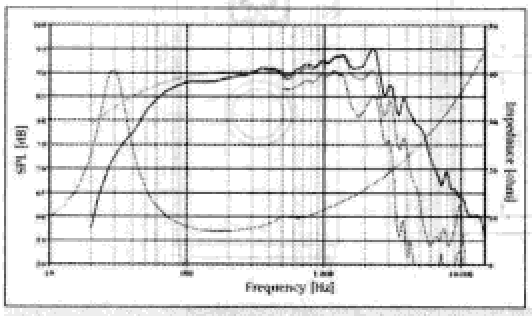


图2 SEAS单元的频响曲线

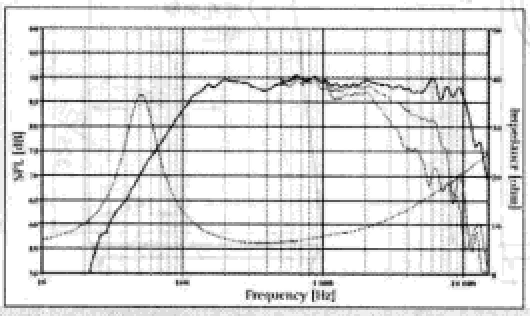


图4 H1262的频响曲线

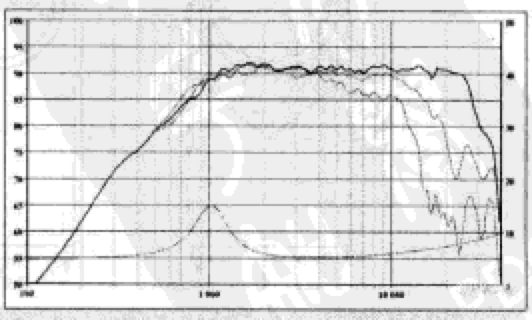


图5 H0831频响曲线

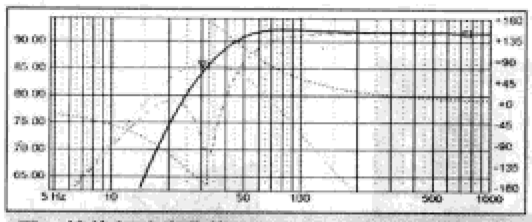


图6 箱体频响应曲线

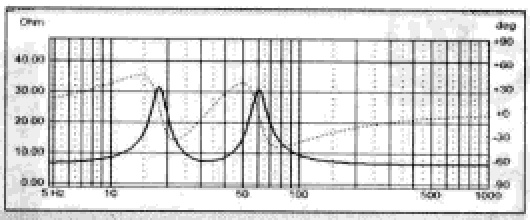


图7 箱体阻抗曲线

大些。

箱体设计

综合考虑厂方公布的参数（可在《无线电》官方网站www.radio.com.cn上进行下载）和实测T/S参数，决定将箱体容积定为62L，低频响应F3为38dB，调谐频率32Hz，频率响应和阻抗曲线图分别如图6和图7所示。

设计箱体造型，首先进行3D建模，然后借助LEAP软件进行声学衍射分析，如图8所示。最终的外观有点像Hi-END音箱品牌——盟主，但是盟主的箱子前后左右的板都是平行的，对驻波分布其实不利，所以改用斜形箱体。

箱体尺寸如图9所示。

实物制作

由于箱体大且工艺比较复杂，制作过程在设备优良的工厂内进行，按照设计要求，全部采用25mm厚优质MDF板（见图10），面板采用两层粘合，厚达50mm，中间采用撑板加强，整个箱体非常结实稳重，外饰树榴原木贴皮，并配一个黑色的带脚钉底座。

中低频吸音敷设吸音材料要求有一定的厚度，特地订购了50mm厚的专用吸音棉。低音腔采用半消音方式（见图11），中高音腔采用全消音方式（见图12）装上扬声器的外观如题图所示，外观霸气十足又不失俊秀大方。

分频器调试

扬声器装箱后，分别测出阻抗曲线和

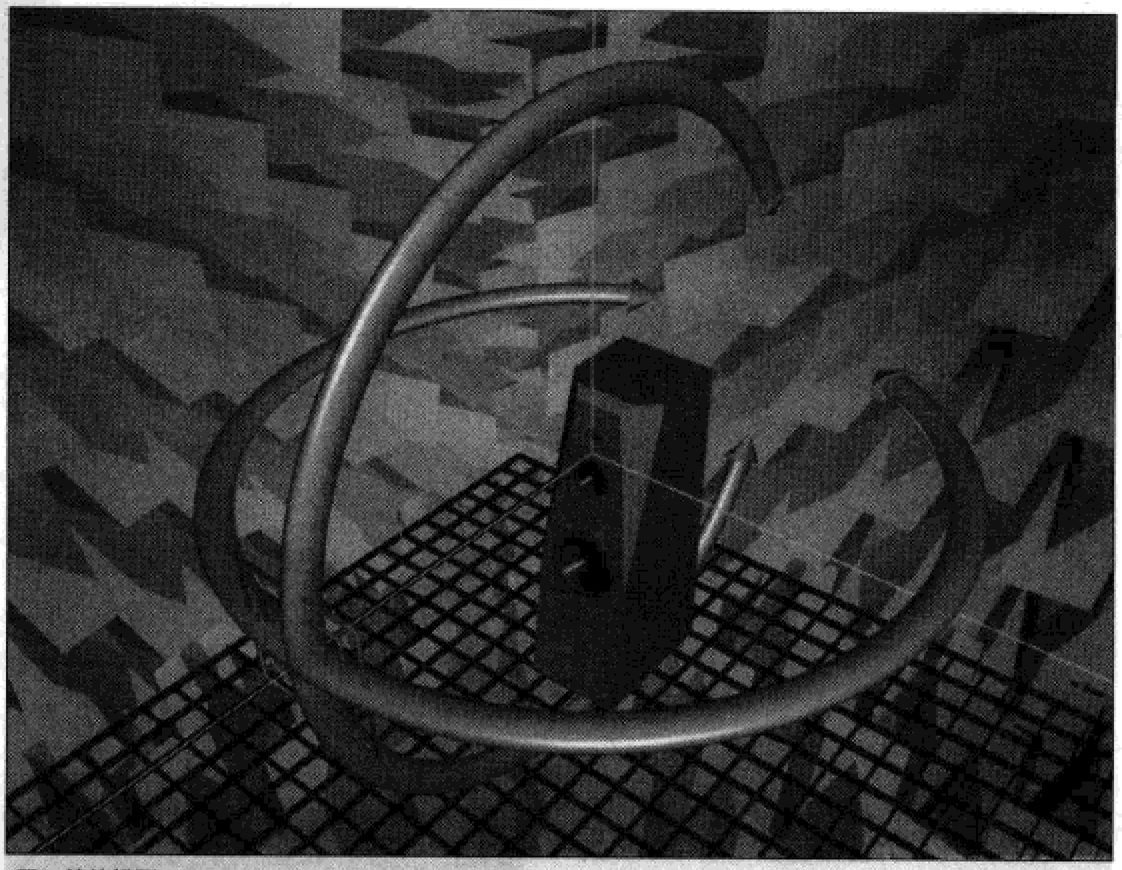


图8 箱体模型

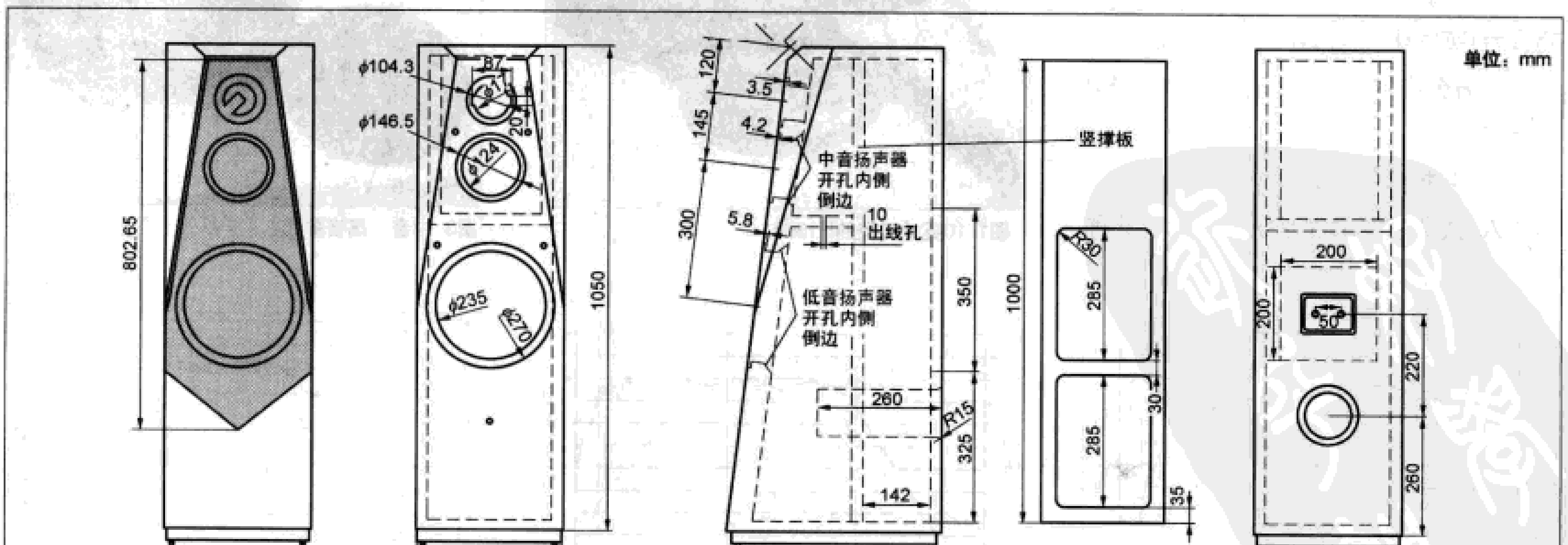


图9 箱体尺寸图

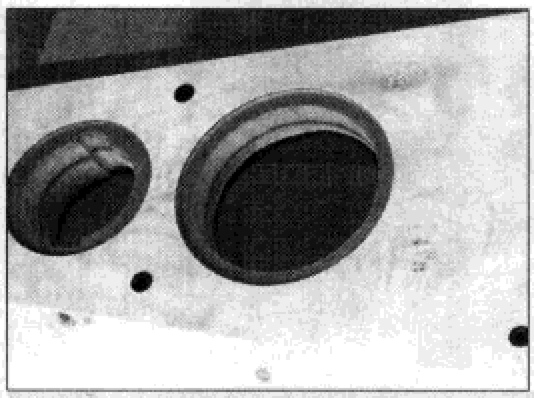


图10 箱体采用厚实面板

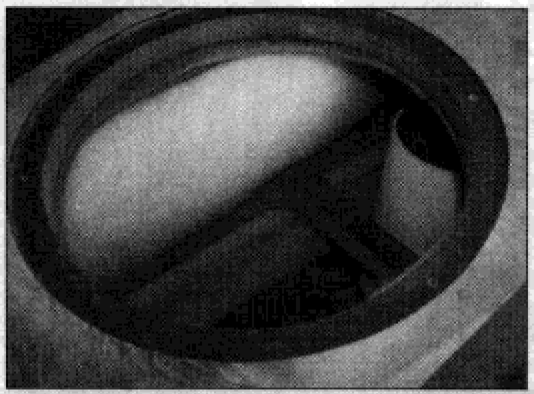


图11 内置吸音棉的低音腔（半消音）

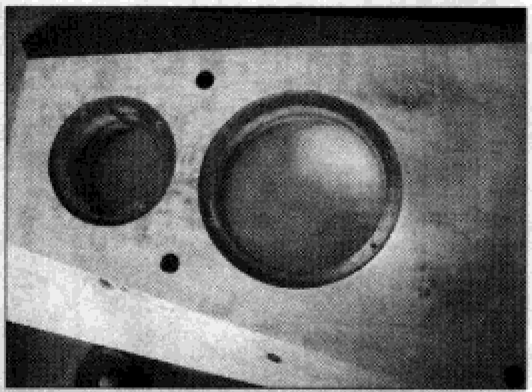


图12 内置吸音棉的中高音腔（全消音）

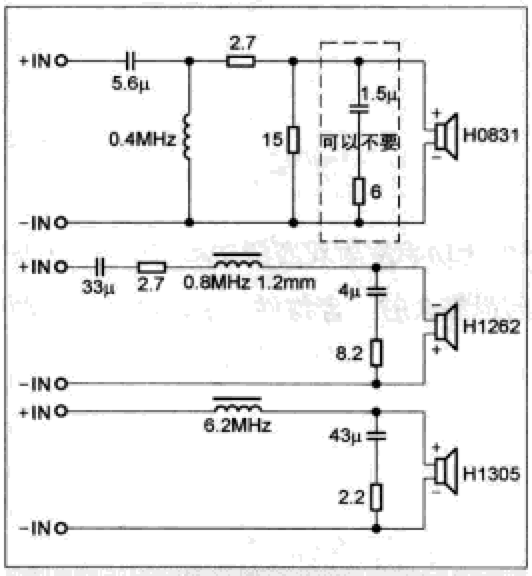


图13 最终的分频电路

轴向、离轴45° 频响曲线，经丹麦出品的FINE X-OVER反复模拟，得出初步方案后再主观试听和实测，并进行微调，最终的分频电路如图13所示。

制作的分频器实物如图14所示，装入箱体后如图15所示，中高音耦合通路全部采用法国苏伦低损失MKP电容。

分频器用8mm螺母加弹垫直接安装在接线柱上，减小连线，非常方便。分频器至扬声器的连线全部采用美国Audio Quest（线圣）FLX/X-14/2高纯度长晶铜线材。

实测频响曲线，200Hz～10kHz起伏在±1.5dB以内（见图16），相当不错了，曾经试过使用更复杂的分频器，还可以更好，不过分频器复杂的话插入损耗也大，所以没必要了。低频测试可以到30Hz，基本平坦，因为环境有些影响，只适合有经验人士在多次测试下评估，此部分曲线就不展示了。

主观音质评价

配套器材：CD机为SONY的CDP-XA55ES，功放为150W×2仿名机——拜事通3BSST自制功放。试听以涵盖各种类型的热门Hi-Fi音乐碟为主，通过对各种曲目的试听，感觉该箱平衡感好，人声弦乐纯正，低频宽松大气，量感适中，收放自如，中高频细腻轻妙，恰到好处，能够轻易重现微小细节。可见整个音箱设计没有出现大的失误。另外，可能是由于箱体特殊造型，致使驻波很小，听音时背景有种宁静感，令人感到兴奋。自己动手动脑以8000多元的造价，制作这样一款大气和细节韵味兼备的三分频大型落地箱，相当满足了。

搭配过程中感觉该箱对功放的要求还是相当高的，功放越好，音箱播放的效果就越好。SEAS H系列的涂胶盆扬声器初听起来非常中性，没什么艳丽的感觉。但是听进去了才知道染色很少，味道很好。

结束语

由于篇幅所限，设计制作的一些过程不可能一一描述，有此同好的朋友制作过程有什么心得和疑问，可以发电子邮件到radio@radio.com.cn，互相交流提高。

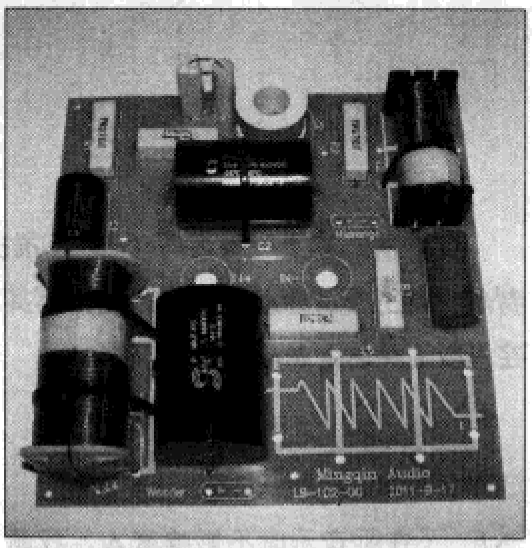


图14 分频器实物

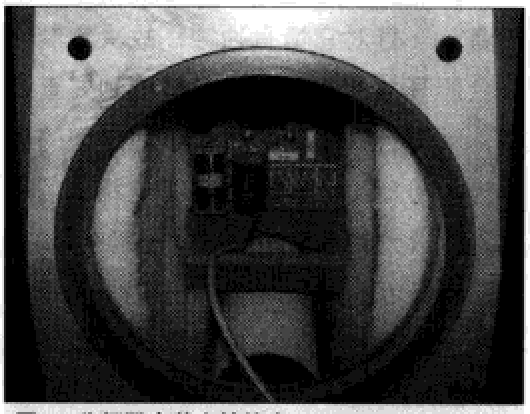


图15 分频器安装在箱体内

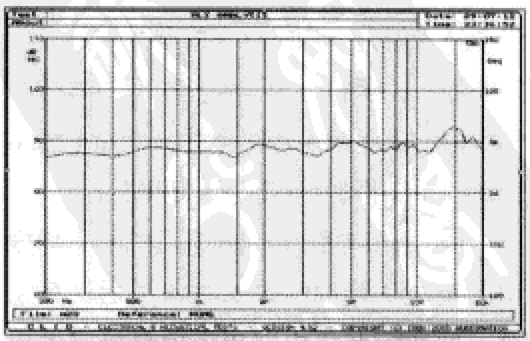
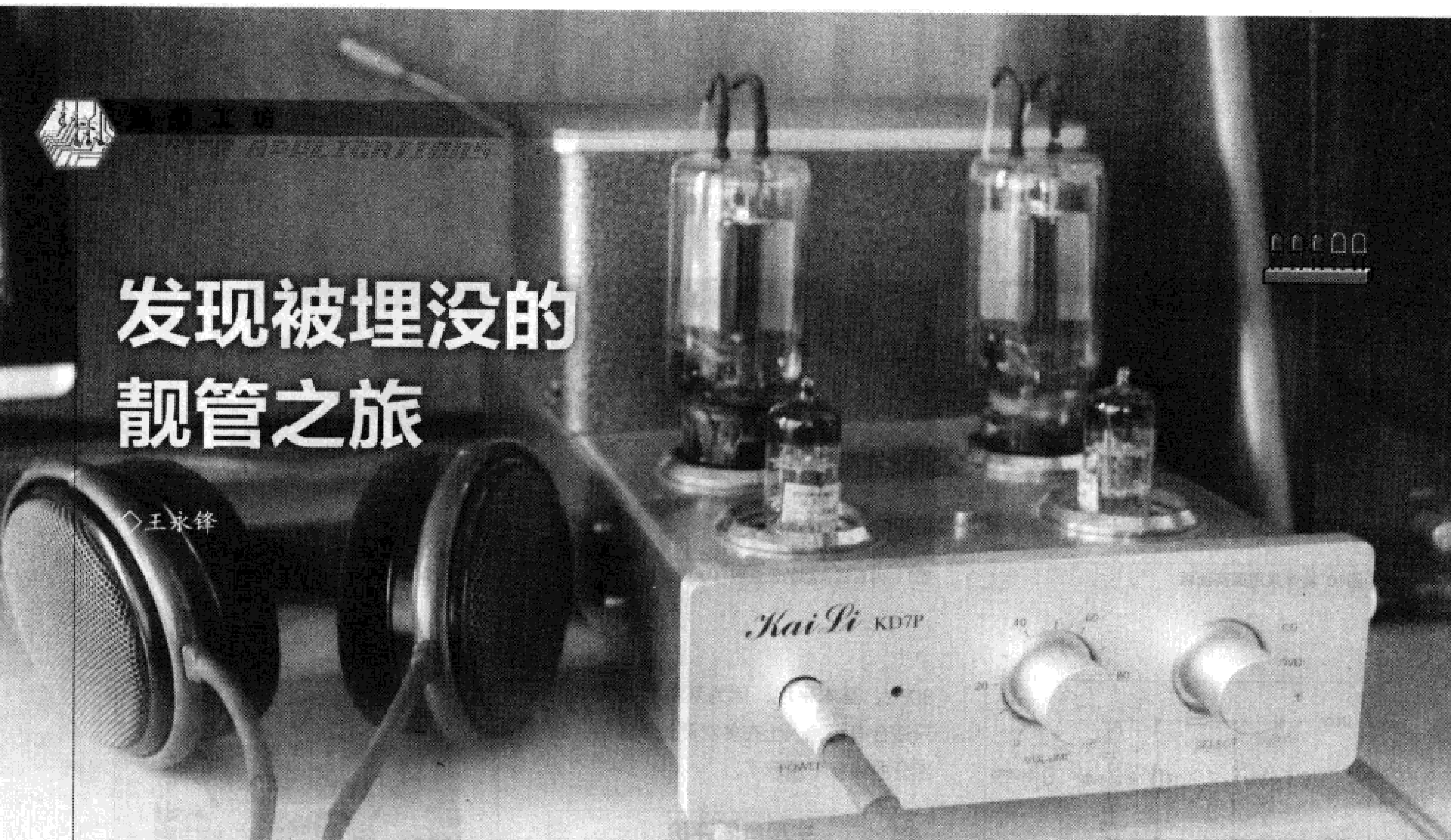


图16 实测频响曲线



发现被埋没的靓管之旅

◇王永锋

编者按：在上一篇名叫《FU-19推挽功放制作》的文章中，作者为我们介绍了用国产的大功率发射双四极功率电子管FU-19制作一款三频清晰的功放的经过。其实对于这款电子管，许多朋友都有过接触，毕竟是问世许久的“老物件”了，那么将它用在耳放上会达到怎样一种效果呢？

为了在听音乐时不影响家人，我萌生了做一台耳机放大器的想法，喜欢胆机柔和、自然而又温暖、厚实的声音，一直对它情有独钟，故决定制作一台胆耳放。于是一有时间就到处查资料，计算各种电路参数，最后定型的思路为：用12AX7串叠成SRPP电路作信号输入，放大的信号与后级输出管6C19直耦，栅极负压由6C19自偏压取得，6C19做功率放大后由阴极输出，整体电路情况如图1所示。

画出了电路图后，接下来就是开始备料（机壳、电源牛、扼流圈由于自己无此专业技术能力，均是计算好参数后到工厂定制的）、装机。为了使整机有更好的电气性能，因此未用印制电路板，而是采用传统的手工搭棚焊接工艺（见图2）。

图1所示电路图中各电阻的阻值均根据所用电子管的特性曲线作图后计算所得，在实际装机中选用阻值最接近的电阻即可，装好机的各点的实测值与此图中各点的数据基本一致。所使用的电阻均用的是国产大红袍金属膜电阻，退耦电容用的是飞利浦蓝六角电解电容和国产CD电解电容（0.22μF的是电子市场随处可买的1000V高压薄膜电容）。输出电容由于要传送一定的功率，所以要用到几十微法以上。为了使各频段有更好的频率响应，以达到声音平衡输出的目的，我使用了不同微法值、不同材质（电解33μF国产CD、油浸0.47μF国产宏明油浸、薄膜4.5μF广汉凯立定制各一只）的电容并联使用。箱体内的布局如图3所示。

在使用过程中，感觉此耳放的低频虽然结实有力，但声音取向偏硬、粗，缺乏韵味，中、高频发蒙，整体缺少细节。但因工作太忙一直未作修改，直到不久前才下定决心做一些调整。

调整时我先从前级入手，更换了12AT7、12AU7，管子的牌子用过曙光、宝马、EH以及东德的等，收效甚微，于是便动起了更换功率管的念头。

动手前，我先将直耦电路改为阻容耦合电路，避免后级的调整对前级的工作点产生影响。接着便将管座由9脚座换为8脚座，然后将6P3P按三极接法插上，改变阴极电阻的阻值，调整工作点，关上机箱底盖。开机试听之后，觉得声音软绵而有韵味，泛音也有了，胆味也出来了，但低频有点散，中频欠饱满。于是又购回EL34直接插上，高中低频均有了极大的

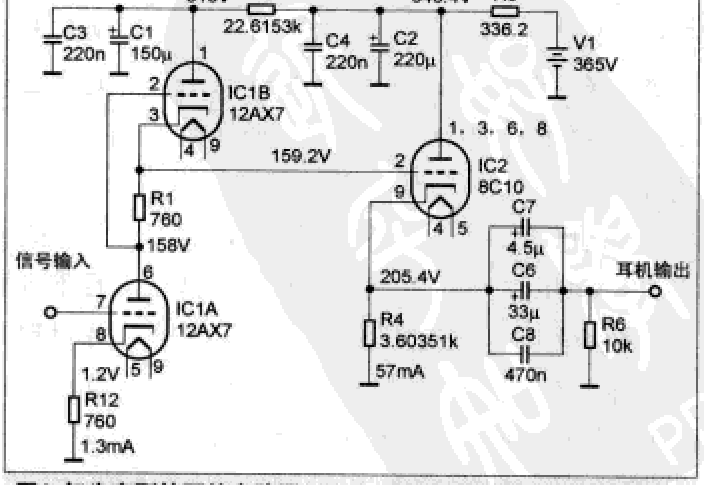


图1 初步定型的耳放电路图

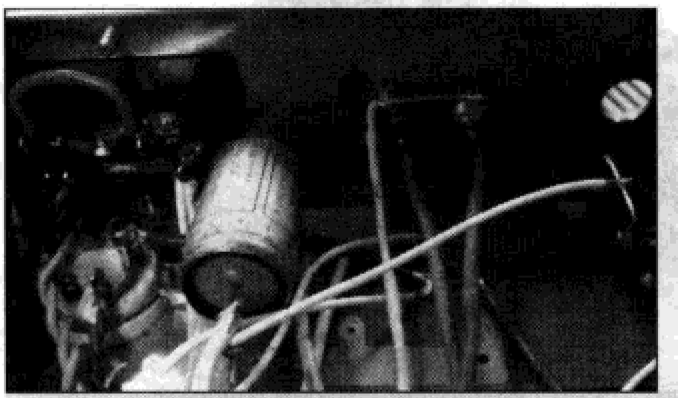


图2 耳放内部采用手工搭棚焊

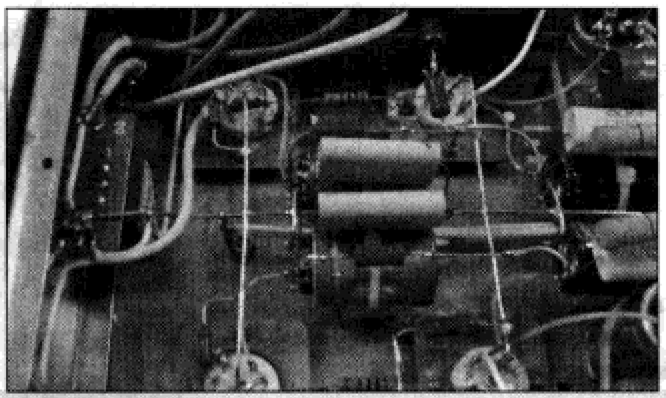


图3 箱体内的布局

图4 FU-19闪烁着橙色的光芒

改善，但声音的柔软性却不理想，并且缺少弹性。于是又是仿真又是调整阴极电阻，均无大的收获。

一天在家翻箱倒柜之余将十多年前因单位淘汰设备时捡回家的FU-7和FU-19折腾了出来，便想插上一试，但不同的接插规格却让我这个“懒人”望而却步，不想将管座换来换去。正在一筹莫展之际，偶逛城隍庙之时，突然发现有个小摊位之上居然摆有其他管转8脚的DIY转换座，于是购了4只做试验用。

回家后先将两只FU-19同一管内的两个孪生束射四极管并联后，按6P3P的管脚接好并立即插上机器，开机试听。哦？怎么刚一出现音乐后便全是高频噪声，音乐声全被高频噪声所吞没。赶紧关机，检查音箱是否受损，万幸，没有发生意外。沮丧之余，痛定思痛，便开始上网查资料并电话向朋友求教：原来是高频自激惹的祸。找到原因后便在FU-19的帘栅极与屏极之间接上一个760Ω 12W（本来按朋友指示，应接100Ω左右的，但在存货中只找到2只760Ω的，一直用到现在也没换）的防振电阻。然后进行了一遍电气检查，接上音箱，插上电源，连接好音源，开机试听。等了一分钟后（FU-19预热时间较长），音箱箱体中开始飘出了悠悠的旋律，嗯，这是什么声音，感觉怪怪的，十分不顺耳。失望之余便拔下耳机（由于输出电容后并有一只10kΩ输出负载电阻，所以不怕空载），未关机就去DIY另外两只FU-7转6P3P了。等到将FU-7转6P3P弄好，正想关机换上之时（中间经

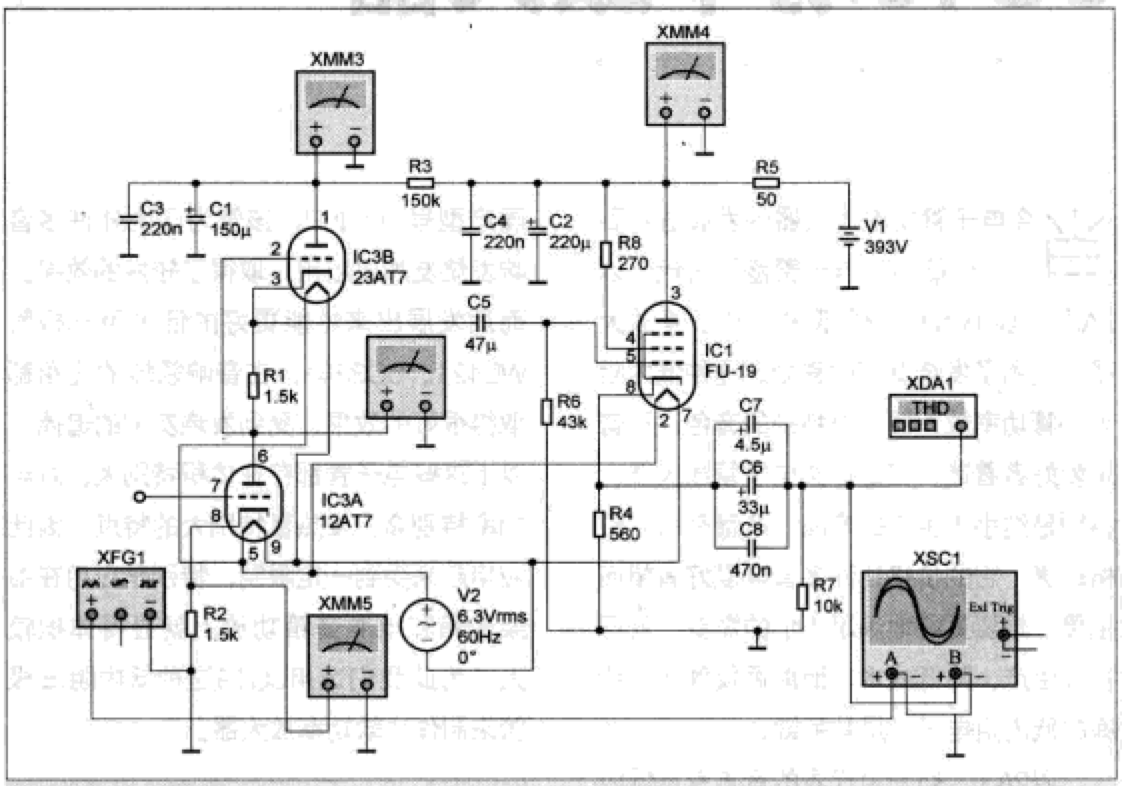
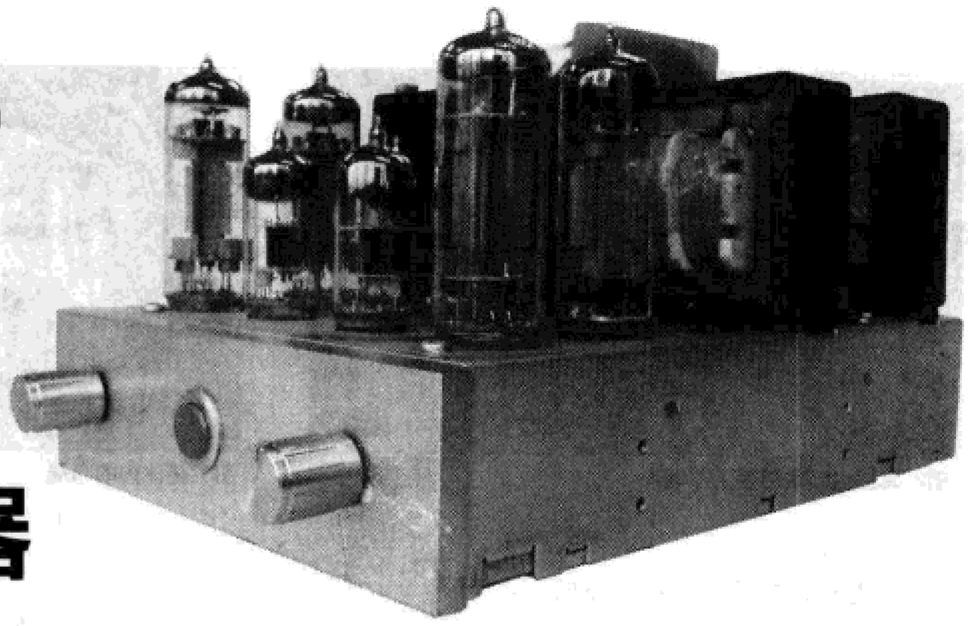


图5 最终定型电路图

过了1h左右），随意插上耳机听了一下。不经意之间，通透自然的音符飘进耳中，那感觉真是妙不可言。大吃一惊之余，我连忙检视机器！没错，就是FU-19在闪着橙色的灯光（见图4），播放着迷人的旋律！

接下来我又将各种发烧音乐换了个遍，它的声音细腻而丰满，解析力出奇地高，让我听得如痴如醉。正是这不经意之间让我从差点与FU-19失之交臂的瞬间找到了被埋没了的极其靓声之管：低频控制自如、结实有力、弹性十足而又毫不肥腻，中频甜美淳厚，如陈年的老酒一般芳香四溢，高频通透、飘逸、极具灵性，全频段非常平衡。最具特色的是FU-19的声音密度非常之高，使得音质显得圆润幼滑，如丝般柔顺的同时而又不失饱满结实，但却无丁点肥厚、松散之感。泛音十分丰富且极有弹性，音质细腻得让人如饮甘露。当将此款耳放作为前级接上后级使用时，整个声场的宽度及声场深度扩展1倍有余，声场定位非常准确，层次特别分明，让人仿佛有身临其境之感。如若不信，请各位烧友将FU-19购回家中一试便知！（不贵，20元一只。）

最终定型的电路图如图5所示（信号放大管用12AT7换下了12AX7）。其他电阻、电容，除对电阻的阻值做了一些微调外基本未动，12AT7与FU-19之间的耦合电容用的是国产宏明0.47μF的油浸电容。



◇江放

低内阻三极管6C19功率放大器

当今电子管功率放大器的发展进入到了一个低内阻电子管盛行时代。以2A3、300B为代表的低内阻电子管放大器，受到了发烧友们的喜爱。这种低内阻电子管功率放大器，以特别的音色让许音乐爱好者着迷。但是这类电子管放大器，特别是纯手工生产的产品，产量有限，价格昂贵，它的价格让许多音响爱好者望而生畏。想要更好地满足人们的需要，就得扩大生产、降低成本，而能否找到物美价廉的低内阻电子管是其关键。

以2A3、300B为代表的音响专用低内阻电子管，从20世纪30年代开发至今，其自身特点几十年来一直没有发展，加之近年来生产的复刻版已被商家炒到天价，因此想要在音响专用低内阻三极管中找到物美价廉的电子管几乎不可能。但是在其他电子管应用领域中有很多低内阻三极管，如电子稳压专用三极管系列，其种类和型号都有很多种，市场保有量也很大，价格也相当低廉。此类电子稳压专用三极管，其特点是内阻特别低，屏极功耗也比较大，开发年代晚于2A3、300B，跨导都比较大，在许多电气性能指标上都优于2A3、300B，推动起来也比2A3、300B容易得多，于是用这类三极管来开发低内阻三极管功率放大器是一种有效途径。

电子稳压专用低内阻三极管最早为美国RAC公司开发生产，其型号为6AS7，国产型号为6N5P，该管为国内外许多音响发烧友加以应用，取得了较好的效果。而后发展出来性能更好的低内阻三极管WE421、6C33等，在音响领域的应用都取得很好的效果，受到发烧友们的追捧。以上这些电子管都存在体积特别大、灯丝功率特别高、发热量特别大的特点，因此应用起来受到一定限制，特别是应用在书架音箱和电脑音箱功放上就显得体积较大。为此我们选用6C19这种低内阻三极管来制作这款功率放大器。

6C19的特点

6C19为前苏联开发的6C19II的国产仿制品，原设计用于电子稳压器中制作电源调整管用，其特点是：V_a较低时，具有较大I_k电流，跨导值较高，可以达到7.5mA/V，其μ=2.25，比2A3和300B都高，是一款高性能的低Ri功率三极管。该管内阻特别低，在R_i=300Ω左右，比有名的2A3还要低。由于跨导比2A3高许多，S=7.5±1.5mA/V.比推动2A3容易很多，因此作为输出功率级用电子管，有比2A3更优异的性能。

6C19虽然有很好的特性，但是在应用时应根据其特点选取最佳电路设计。如果作为A类放大器，笔者认为是非常不适合的，尽管笔者看到许多音响爱好者就是这样应用的。从6C19的特性曲线中可以看出它的P_a比较小，在此限制区内V_g-I_a动态范围很小，按其技术指标，其P_{amx}有两种规定，V_a在200~350V之间时，P_{amx}小于或等于7W，V_a小于200V时，P_{amx}小于或等于11W。如果作A类放大，根据负载特性曲线达到线性区之间时，必须选用较低V_a，当V_a=120V，V_g=-30V已达到P_{amx}极限，A类放大输出功率小于2W。输出功率明显不足，不足以推动小口径低灵敏度电脑音箱,因此是不可取的。为了得到较大的输出功率，应选择推挽放大，如AB1类输出电路，当V_a=200V，V_g=-80V，R_p=6.4kΩ时，为6C19作为AB1类推挽输出最佳工作点。可以输出9W的功率，足以推动电脑音箱和书架音箱，能满足大部分爱好者对输出功率的要求。作为欣赏音乐黄金功率输出。

6C19推挽功放电路简介

图1所示为6C19推挽放大电路图。整个放大器由2只6N15和两只6C19组成，第一只6N15组成长尾式倒相电路，第二只6N15组成电压推动放大，两只6C19作AB1类推挽功率放大。

前置倒相放大级

图2所示为6N15电子管，一只6N15组成长尾式倒相电路，对信号进行倒相放大，由于6C19推动电压高达80V，并且电

源电压低至200V。因此必须选用较低V_a的电子管，作为长尾式电路不但具有倒相作用，而且还兼有一定的电压放大作用，根据其电路特点，要求两只三极管电气参数必须非常一致，否则就会出现很大的失真，因此选用6N15担当。由于6N15为共阴三极管，两只三极管由于其特殊的结构，共用一个阴极，两个栅极平行排绕分布，屏极对称布置，几何尺寸和空间尺寸非常一致，且参数也非常一致，特别适合用于这种对称倒相放大电路中。如果用其他结构的三极管很难达到平衡对称，并且调试也非常困难。

由于6C19供电电压值较低，在200V左右，为了提高6N15平衡倒相放大的动态范围，又保持对称性好，选用较大阴极电阻阻值的同时，接入-100V电压于阴极电阻上，屏极电阻选用较小值，以保证具有较大V_a电压,满足动态需要和必须的电压放大增益。

电压推动放大级

第二只6N15担任电压推动，经过前置倒相放大的信号，通过电容耦合加到电压推动管6N15的栅极上，对信号电压进一步放大，6C19用作AB1类功率放大器时需较大的推动电压，为了获得较大的驱动能力，该级放大器屏极电阻较小，为18kΩ左右，输出幅度可达80V左右，满足推动要求。

功率输出级

图3所示的是6C19电子管，由两只6C19组成AB1类推挽输出，选用固定栅偏压方式，V_a=200V，I_a=30mA，$R_{p\text{-}p}$=6.8kΩ，V_g=-80V，工作点在输出特性曲线偏低处。如果需要较大的输出功率，可以工作在AB2类推挽输出特性上，这时最大输出功率可达9W以上，选用固定栅偏压方式调节起来非常方便。如果选用阴极偏压方式，电路比较简单，但由于V_g=-80V，电压较高，I_a=30mA，静态电流较大，阴极电阻功率将达到P_r=80×0.03=2.4W，发热量很大，不利于安装和散热。那么就势必选用底板体积

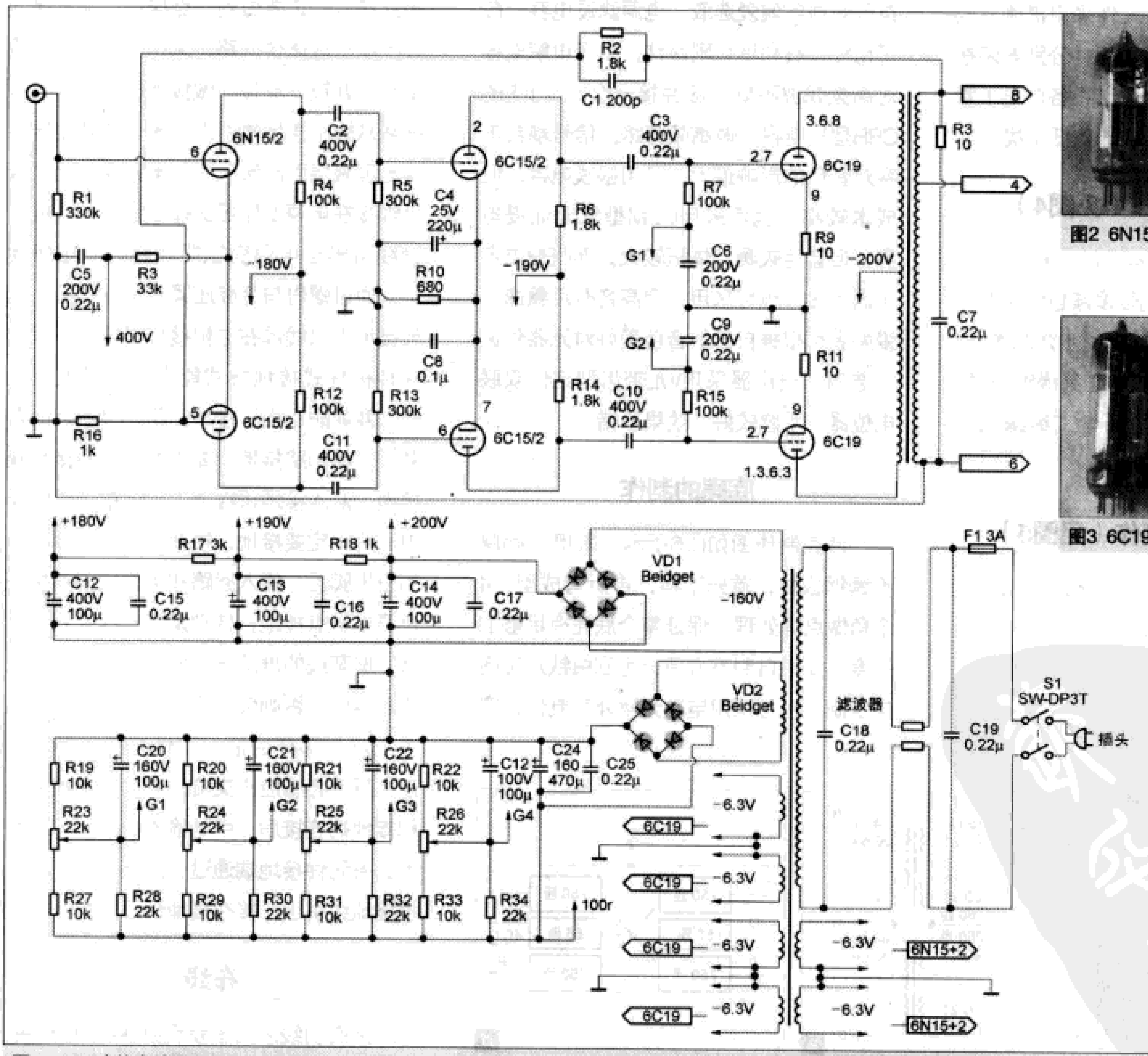


图1 6C19功放电路原理图

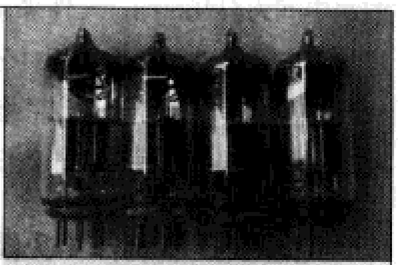


图2 6N15电子管

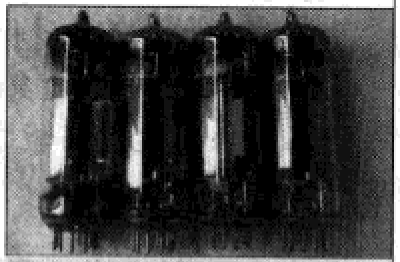


图3 6C19电子管

庞大的，与书架音响和电脑音响相配，就显得极不协调。外观是一个重要感性指标，应尽量做到协调。

放大器布局

为了缩小整个放大器的体积以及达到简便的目的，我尽量选用较小尺寸的机壳进行设计：200mm（长）×147mm（宽）×42mm。整个放大器的布局为：后（高）部为电源插座和输入、输出插孔，前部中间为电源开关，左边为RL平衡电位器调节旋钮，右边为RL音量控制电位器调节旋钮，后上部分为电源变压器和RL两只输出变压器。为了便于安装，电源变压器为卧式安装，输出变压器为立式安装，4只6C19安装在前端左右两侧，前端中间为4只6N15，元件采用搭棚方式焊接，电源组件和负栅压组件分别安装在机壳内，其他元件就近安装在各自电子管附近，尽量减少引线距离，降低干扰。

电源变压器制作（见图4）

铁心截面积：*S*=34mm×60mm，

技术要求：采用高强度漆包线绕制，

静电屏蔽层用0.02mm同步箔制作，

层间绝缘：0.02mm 电工绝缘纸一层，

组间绝缘：0.02mm电工绝缘纸二层、0.02mm聚酯薄膜二层。

输出变压器的制作（见图5）

铁心截面积：*S*=20mm×30mm，

初级阻抗：6.8kΩ，

次级阻抗：4Ω/8Ω，

初级匝数：750×4=3000匝，

次级匝数：86+24=110匝（4Ω输出86匝、8Ω输出110匝）。

输出变压器采用分段分层夹绕工艺绕制，这样能有效降低分布电容和分布电感的影响，提高放大器的高频频响。

绕制时，分两段3层，层数不宜太多，次级夹绕在初级绕组中间,绕组连接时一定注意同名端，保证其相位正确。

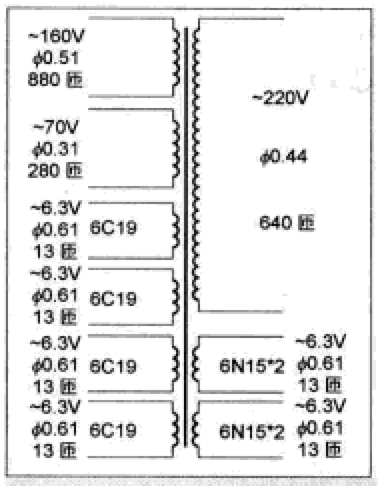


图4

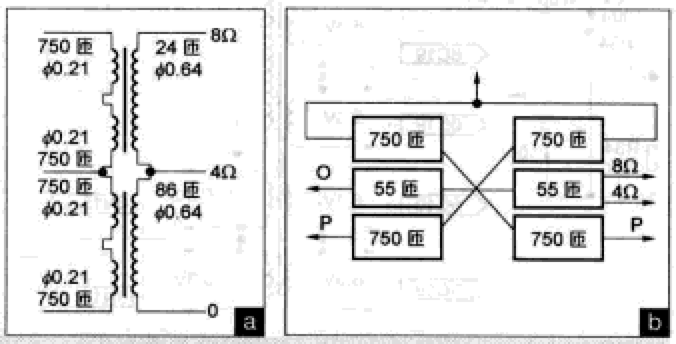


图5 输出变压器的制作

元件选取

电阻器选用RJ型金属膜2W电阻器，电源滤波电阻选用6W金属膜电阻。金属膜电阻噪声、误差最小，尽量不要用碳膜电阻，碳膜电阻噪声太大。电容器可根据自己对声色偏爱选取，电源滤波电容一般可用红宝石和黑金刚两种，由于电解电容对高频滤波不好，应并接一个0.22μF的CBB型号电容，做高频旁路。信号耦合电容对音色的影响最大，可用银膜电容，但成本较高，也可采用CZM型纸介油浸电容，但音色较暖，体积较大。而CBB电容市面上多，也可采用，但高音有点飘逸。爱好者可根据自己的音色爱好对元器件进行选用。电位器采用WL带齿型定位双联电位器，手感较好，效果不错。

底壳的制作

底壳制作图如图6所示，采用1mm厚不锈钢板材，首先下料，再折弯成型，4个角做点焊处理，保证整个底壳有足够的强度。如果自制不方便，可到白铁加工商店定制，也可采用电脑光驱外壳制作，完成后喷漆处理。底壳成型后在上面画线开孔，可采用专用开孔工具开孔。用Φ22和Φ16两种规格的开孔器，用手枪电钻开孔，速度可调，但要注意的是，电钻速度一定不要太快，加工时，在下面垫上木板，保证加工尺寸准确性。电子管管座孔完成后，再加工电源变压器孔，由于是方孔，可采用钳工方法完成。底板加工完成后，安装电源变压器，输出变压器，电源开关，输入、输出插座，电位器以及电子管管座等。

接地线布置

胆机制作中，接地线布置非常重要。由于电子管输入阻抗很高，很小的干扰信号就会被检测出来，出现讨厌的交流声，因此接地一定要做到一点接地。并且接地线不能出现闭合回路，采用Φ1.5mm单股铜线，并镀一层锡，做接地母线。首先将铜线从输出接地端引出，接入电源变压器静电屏蔽层引出端，同时电源插座接地端也焊接在电源变压器的输出端上。再将该铜线引出至电源变压器与底壳固定螺栓上，通过螺母与底壳压紧，良好连接，其他接地引出线焊在这根接地母线上，采用这种树杆式接地方式能有效地降低交流声，并能防止由于接地回路不良引起的自激。灯丝回路接地，要求在变压器接线端接地，汇入接地母线上。另外电子管管座中心片一定要接地，接在电子管灯丝接地的引出脚上。输入回路和阴极回路的接地也要求一点接地，特别是输入插座到电位器，屏蔽线的屏蔽层只能一端接地，不能两端接地，否则会构成闭合回路，产生感应电流，那样的话，不但起不到屏蔽作用，反而会感应出交流声来。电位器外壳和接地端连接后，引到输入接地点一点接地。各元件接地端通过引线连接后，由一根接地线引出，接在接地母线上。

布线

所有引线采用多股镀银软线，灯丝线、电源线、信号线分开布置（见图7）。

灯丝线采用绞合方式，用两种颜色区分，最好能做到统一引脚接地，从变压器引出后，沿底壳两边缘引至6C19和6N15灯丝脚上，并采用扎带扎结，用胶带固定在底板上。高压电源引线走中间区域，按两边分开，分别接在相应位置。由于R声道和L声道共用一组电源，所以高压引线一定要用两根分别接在R和L声道上，对称布置，以提高R声道和L声道分离度，引线要扎结固定，这样才美观大方。

信号线在各电子管管座上就近引出，尽量减小距离，并且要求贴底壳走线，利用底壳做屏蔽，减少干扰，一定不要悬空，否则容易感应交流声。采取以上这些措施，能大大降低交流声。

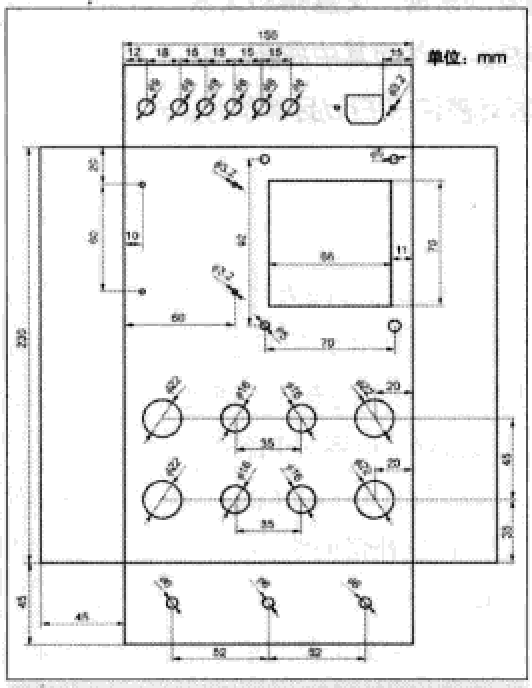


图6

电源组件

电源安装在输出变压器底壳内下方，采用印制电路板安装，爱好者可以根据自身条件和喜好采用不同的品牌电容器，根据其形状和尺寸，设计印制板。由于元件较少，可手工制作完成。滤波电容器对声色影响较大，可根据自己喜欢选取，但不论采用什么品牌，由于都是电解电容器，对高频信号都有感抗，所以，应接一个0.22μF的CBB电容，以利于高频成分的提升。印制板地线不要形成闭合回路，连接时，从第一只滤波电容的负极焊到电源变压器的接地母线上，形成高压电源回路。

负栅压组件

功率输出管各负栅压，通过负栅压组件引到6C19栅极电阻上，组件安装在电源变压器的一侧底壳内。为了减少干扰，电源变压器的最外一层要做屏蔽层，制作变压器时不要忘了。在各负栅压引线电子管一侧一定要接入一个0.22μF电容器到地，消除感应干扰，并形成栅极信号接地通路。印制电路板接地线汇入接地母线上，构成负栅极压回路。

元件安装焊接

在两排电子管座中间，用覆铜板做的接线架，固定在适当位置，各元件分别焊在电子管管座和接线架之间，做到整齐均匀，高度一致。在排列时，各电路自成一体，构成功能电路区，形成模块加以区分，以便检测和调试修理。焊接顺序从中间开始，先焊输入倒相放大级，再焊中间电压推动级，最后焊接功率输出级，注意负反馈网络元件位置要预先保留，不然无位置安装。元件焊接完成后，导线连通整个电路，并检查是否有误，及时修改，然后用万用表检查是否有短路现象，查找故障点并排除。特别注意，地线是否连通，以保证形成回路。

调试

首先，插接电子管之前通电，测电源电压为直流240V左右，因为空载电压略高，调节负栅压电位器，使负栅压最大，V_g为-100V左右，灯丝电压大约为6.5V，以保证电子管安全。电路安装检测无误后，插上电子管，通电预热20min后，调节负栅压电位器，使6C19的I_a=30μA，4只6C19要一致。由于是独立调节工作点，对电子管参数的相同性要求不高，很容易调整。其次，调节倒相放大级阴极电阻的大小，使倒相级阴极—栅极电压$V_{k\text{-}g}$=4V，推动放大级一般不需调试，都能满足要求，如电子管参数相差较大，调整该级阴极电阻，使阴极对地电压为4V左右，调试即告完成。调试前一定要注意把负反馈电阻断开，输入对地短路，经过反复调节两次后，接上负反馈电阻，检查相位是否正确，如不正确，应及时反相，调试就算完成。放大器应带负载调试，调试电子管与晶体管放大器不一样，一定要接音箱，输出必须要带负载，千万不要空载，以防烧坏电子管和击穿输出变压器。

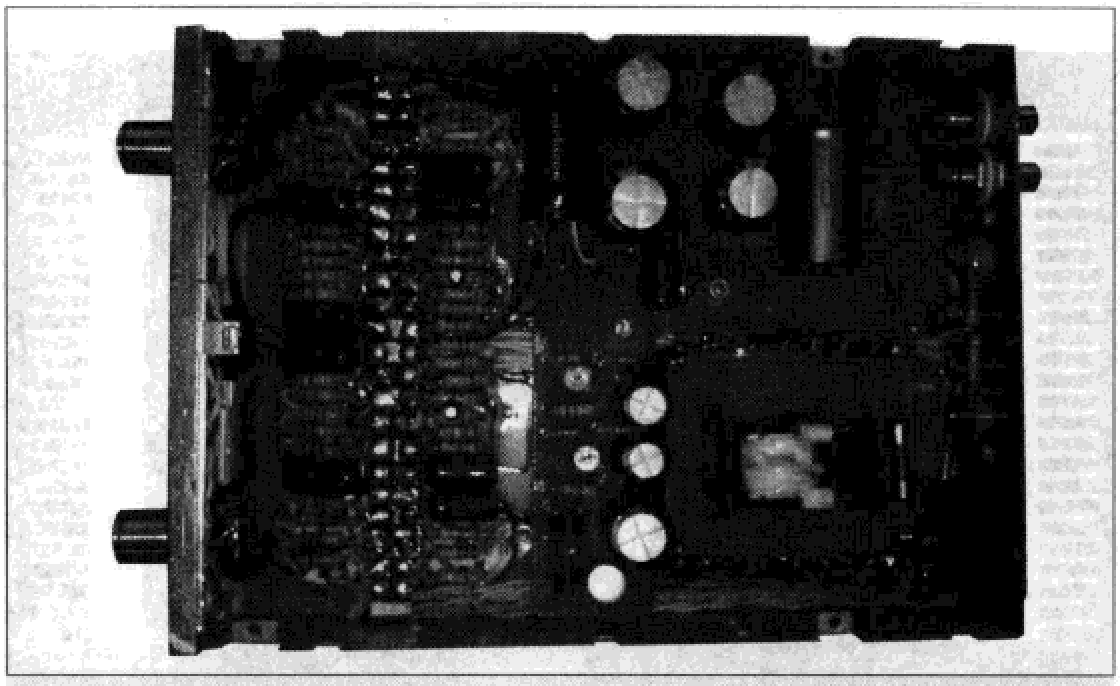


图7 机箱内整体布局

◇韩锳（BG5CJT）

极致DIY
——复刻经典纯后级

作为一名DIYer，最大的快乐莫过于亲手打造一台自己喜欢的东西，又能得到大家的认可。不少DIYer为此不断努力，在各种努力之中，复刻名机似乎是一条捷径，然而其中曲折，却不为人知。我也是奔着这个捷径，复刻了一次，为了挑战自我，选用了德国某著名Hi-End品牌作为复刻目标。

我所复刻的这台机器的生产厂家是全球最著名的Hi-Fi、Hi-End音响器材厂商，此厂家的作品已经成为发烧圈内有口皆碑的优秀代表。它旗下音响产品（部分扬声器除外）的型号，都是以“推出年份+月份”的3位数字方式命名，这种方式让人一眼就可辨识出来该产品是何时推出的。

图1所示的后级是此次复刻目标的周年纪念版，普通版是黑色散热器及黑色机箱。此机非常适合DIY制作——成本低、声音好，且制作难度很小，调试非常简单，只需要调整末级静态电流就可以。它的具体情况可以从图2中获得。图2（a）、（b）和（c）所示分别是此款纯后级的原机焊接面、原机的一声道以及原机所用的管子。

电路结构基本设计思路是使用多级放大来获得很高的开环放大倍数，使用较深的负反馈，从而可以得到很低的输出阻抗和很高的阻尼系数。具体到声音的表现，就是超强的低频控制力和全频段上强大的能量感。图3所示是此款名机的电路图，感兴趣的读者可以从无线电的官方网站www.radio.com.cn上下载此机复刻出来的PCB。

此机只用1对2SC2922、2SA1216作输出，功率仅75W，但是驱动力和控制力却是一般人想象不到的强大，一些有名难推的箱子都可以应付自如。

对于开环放大很高、易自激的问题，本机电路采用在推动级加较大的滞后电容C15、C17、C21和C23，并与R20、R22、R25以及R27构成LR低通网络，阻止超高频噪声进入末级。

同时，在电压放大级采用了复合管形式，VT6、VT8为TO126封装的中功率管，且使用较大的静态电流以提高动态时C15、C17的充放电速度，从而减少使用较大滞后电容对电路转换速率的影响，后面一级VT9、VT10的采用同理。经过严谨计算的补偿网络亦不会产生瞬态互调失真。

电源部分非常简单，电压放大级CRC滤波后用7812、7912稳压，并用稳压管抬高7812、7912的GND脚电平。输出级的电源就是电容阵。两声道共用一组变压

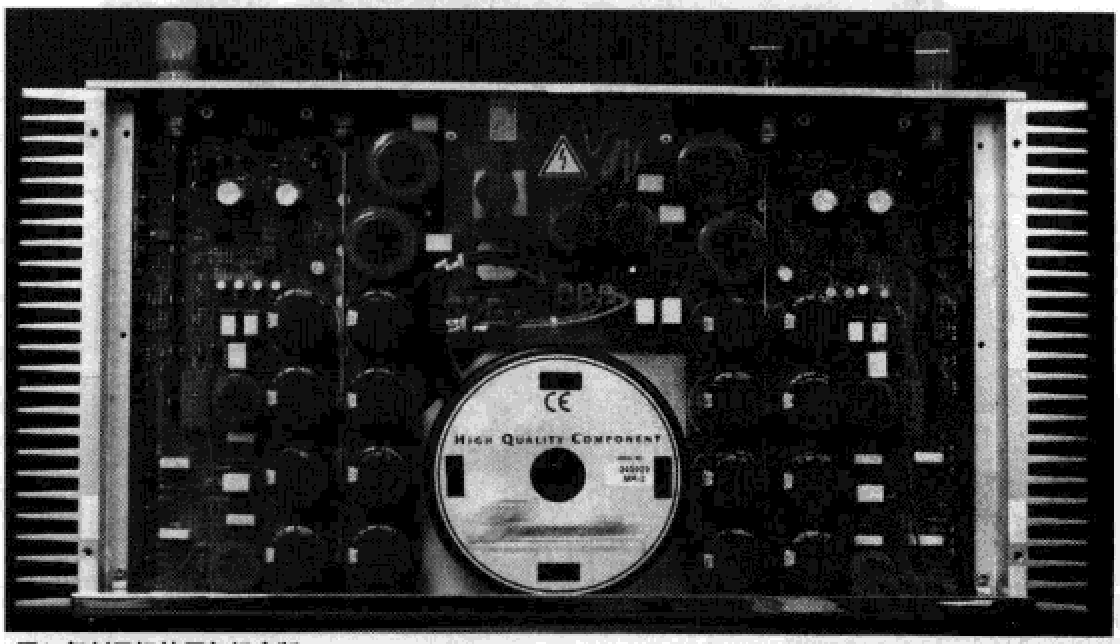
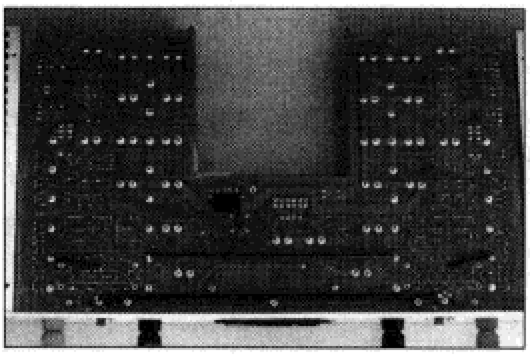
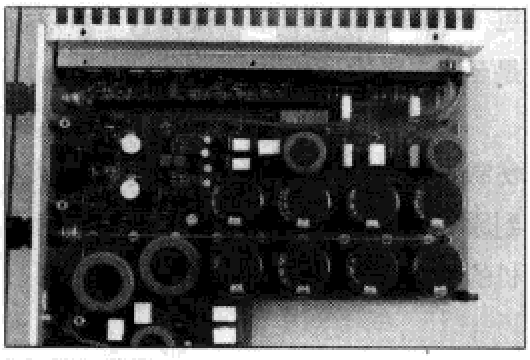


图1 复刻目标的周年纪念版


(a) 原机焊接面


(b) 原机一声道

(c) 原机所用的管子

图2 此款名机的部分信息

器绕组，共用一个整流桥，但是从整流桥之后，两声道就是完全独立的走线了，此类名机系列的所有机器都是这样的，即使是高端型号也没有分开。

原机的7815、7915就是普通的ST、CV后缀，很容易买到。测了一下噪声，都是几十微伏的水平，这里是给保护电路和直流伺服供电，不会影响声音。

原机的继电器是澳洲产的SCHRACK，由于种种原因，现在全部国产了，品质是一样的。澳洲产的只能找到拆机和翻新的。继电器属于消耗品，寿命很有限，拆机和翻新的性能和可靠性都没法保证，所以我没有购买。

原机的做工，各处都体现出设计者一丝不苟的严谨作风。

比如，同一级上的上、下臂NPN和PNP管子全部配对，末级2SC2922、2SA1216甚至用了一个P挡、一个Y挡的管子来配，测量每一级上、下臂的工作点都是严格一致的，这样可以杜绝因为工作点不一致带来的谐波失真。

再比如，给电压放大级供电的稳压7812、7912，用的是ST的7812和MOTO

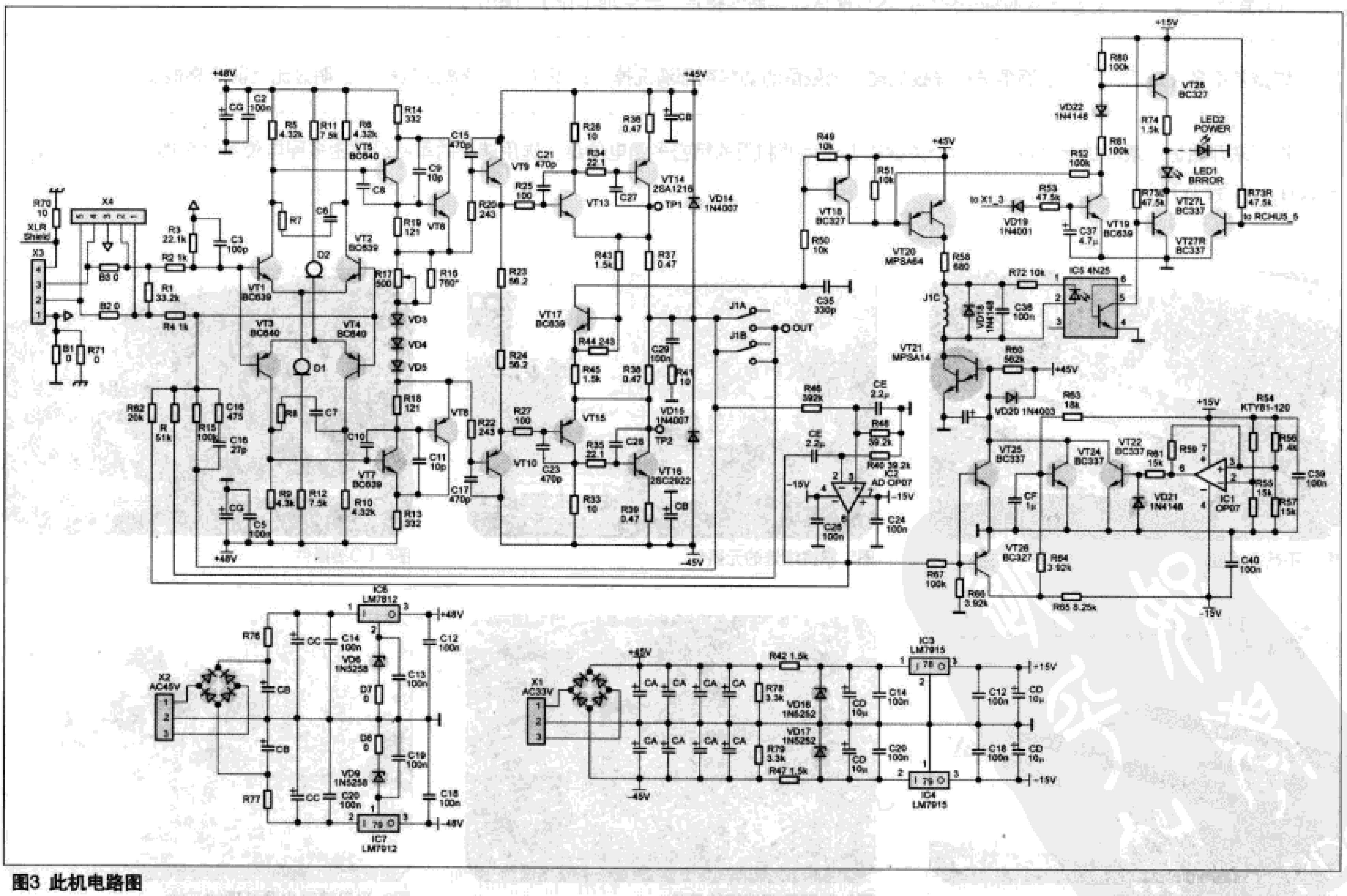


图3 此机电路图

的7912，看似不讲究，当我们买了很多种7812、7912回来测试才发现，ST的7812和MOTO(ON)的7912应用在此电路中，噪声水平是所有品牌里面最低的。

这只是两个典型的例子，在对原机进行全面分析测试的过程中，我们发现每一个细节都是非常严谨的甚至可以说是至臻完美的。

至此我才明白，为什么那么多人或仿制或复刻各种各样的名机，总是难以达到原机的声音水准。归根结底，就是对原机的了解和分析不够，制作也不够严谨，或者根本就不动脑子对原机进行分析，只是抄了板、找来差不多的元件一装，做出来的当然不是原来的声音。下面展示一些复刻本机的心路历程，笔者首先感谢好友——北京的孙先生为完美复刻此机所做的不懈努力！

开始制作

首先是外壳，我采用的是不锈钢面板（见图4），找了专门的冲压模具折边后再冲压出散热孔，然后激光雕刻，最好做了镀铬处理后再加工。

对管子、阻容这些（见图5）元器件进行更为精确的配对，每种分别测量后，单独小包包装，并贴上纸条，保证日后安装的快捷性。

I/O接插件（见图6），按原机的风格，选用的是最高标准的接插件了。这里插一句，与原机一样的也能买到，但是国内没有，如果从国外采购，运输成本高。

铜排是先做好了浸焊，铜鼻子与铜排紧紧连接在一起，里面充满了WBT焊锡，将连接电阻降到了最低（见图7）。

制作上，首先按照从小到大的原则（电阻自然是第一位了）依次焊接。有个串联处理的元件，进行了如图9所示的安装工艺。除了电阻以外，所有管子、接插片、IC都是双面焊接处理，这样能保证元器件稳定、安全地工作于电路中。

焊接差不多完成后，用无水酒精进行洗板处理，把残留的助焊剂都清洗掉（见图10）。清洗后的板子，明显比之前漂亮很多。

接下来开始进行最后的元件焊接，两个关键的工作点调制用的精密多圈电位器，选用瑞士的军品级精密多圈电位器（见图11）。为了整体一致性，也专门订制了变压器罩子。

图4 不锈钢面板

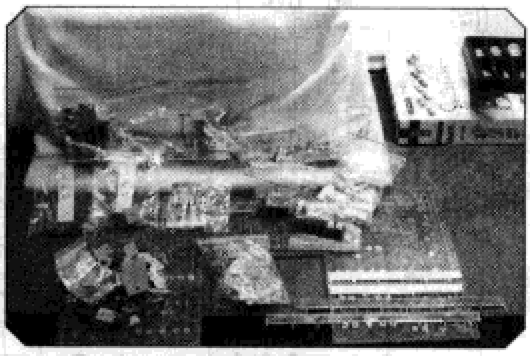


图5 精挑细选的元器件

图6 I/O接插件

图7 铜鼻子与铜排紧紧连接

图8 采取双面焊接的元件

图9 采用特殊串联处理的元件

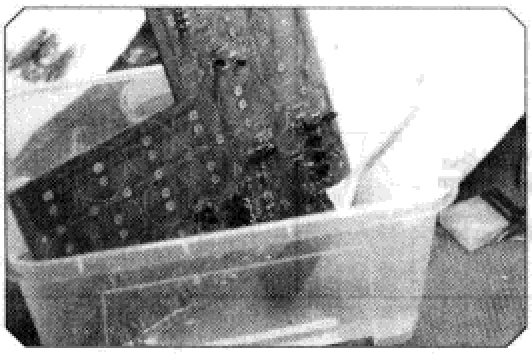


图10 无水酒精进行洗板

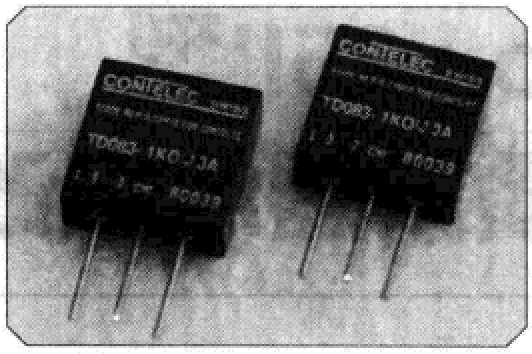


图11 精密多圈电位器

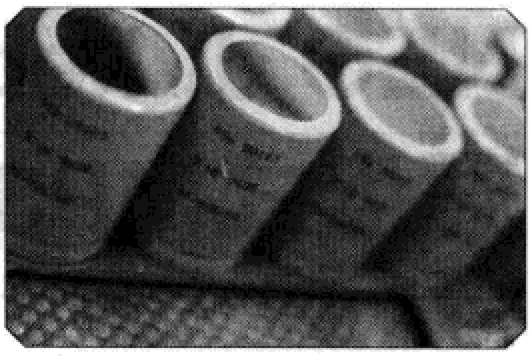


图12 优质电容

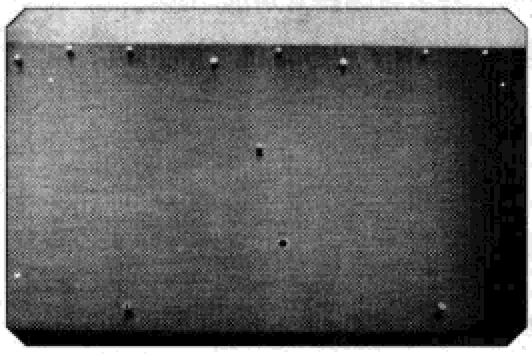


图13 等高铜柱

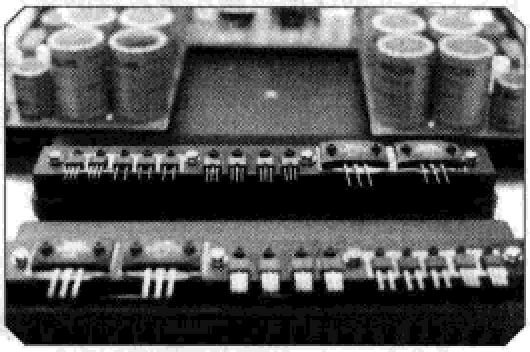


图14 总装前的两组功率管

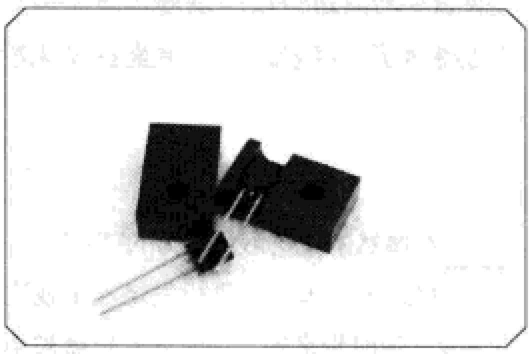


图15 温度保护件

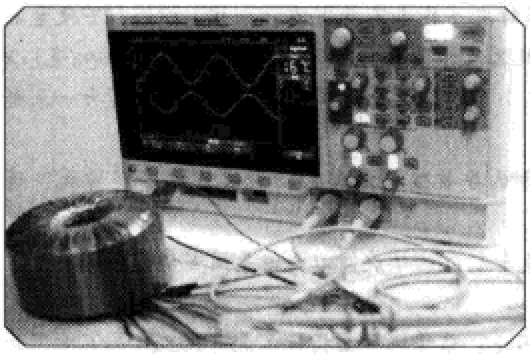


图16 变压器需要前期测试

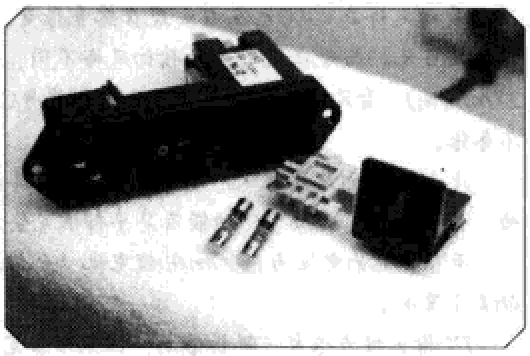


图17 尾插的分体图

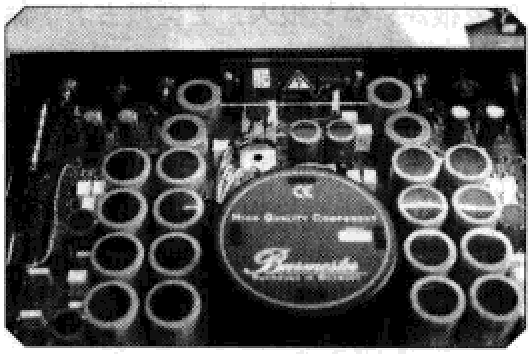


图18 组装完成

板子全部焊接完成，再用无水酒精仔细清洁一次板面，这个工作比较费时、费力，而且不太环保，但是还是很有必要做的，而且洗完的板子是挺漂亮的。铜排都跟原机一样，套上了专门为此购买的套子，以增加安全性。电容也是跟原机一样，专门采购BC 056系列的10000μF/63V（见图12）。

底板按要求都上等高铜柱（见图13），并扭矩到最高强度，为PCB安装提供一个可靠的平台。接下来用工业导热硅脂均匀涂抹在功率管子后背，并受力均匀地锁紧在均热条上。图14所示是两组功率管进行总装前的合影。机箱结构件按避震理念，所有金属件碰到的地方都贴上避震材料。温度保护件还是跟原机一样的型号，不同的是专门定做了压件（见图15）。

4个输出端子的内部电极，我专门车了4个紫铜圈圈。机箱螺丝，原机用的是定制品，短杯头，由于没有地方能够购买，我也采取了订制的方式。不过幸运的是，螺丝、尼龙垫片能买到。

变压器出线按原机一样，做了编号，后来发现这样做的好处是根本不会搞错相位与电压，当然需要经过事前测试（见图16）。

关于本机的尾插，笔者几经周折才买到。图 17 所示是这个尾插的分体图，可以看出，电压转换用的是一个巧妙的跳线帽，保险丝是零、火各一根。当把这些分体组装完成之后，整个尾插显得很简洁。这样，整机组装便完成了（见图 18）。

经过300h老化处理后，进行试听。整体开声以后，与其原机不分伯仲，出来的声音通透、平衡、大气，由于主观感觉每个人都不同，所以只能说在不告诉你哪台是原机的情况下，你无法分出哪台是复刻品。

NEO Jukebox 25II型 硬盘式MP3播放器终极改造

◇林伟淏

编者按：相信有一大部分电子爱好者手头都会有一些过时或损坏的音频设备，那么对一台还具有修复价值的硬盘播放器，如果想要对其进行改造或修理该从何处入手呢？什么样的改造步骤才是合理的呢？修理的过程中有哪些常用的小经验呢？本文作者展示了一台老式NEO硬盘播放器的修理及改造全过程，读者可以从其中获取一些修复、改造电子设备的经验和小知识。

一次偶然的机会我结识了NEO 25II，那是一个远方的耳机发烧友来我这边与我交流时带来的。当时这台机器被用做对比耳机以及耳放的音源。外形给我的印象很深，体积很大，造型很古老，储存介质为2.5英寸IDE硬盘。这台机器不仅有用于驱动耳机的PO输出，而且还有LO输出。而最让我吃惊的是这台具备独立LO与PO的硬盘播放器的价格仅有几十元钱。那次之后便对这台机器产生了浓厚的兴趣，通过各种途径查询到了这台机器的相关资料。

改造前的状态

这台砖头一样的机器是SSI出品的一款硬盘式MP3播放器，型号是Neo 25II。SSI于1984年在中国台湾建厂，主要进行移动式硬盘的研制生产，产品以出口为主。

我手中的这台Neo 25II根据机器电路板版号以及相关文章的发表时间推断应该是2000年的产品，最初定价在3000元左右。现在感觉很贵，但那时电子技术不及当前，一块10G的IDE硬盘也需要几百元。与现在MP3小而精的风格不同，这台机器尺寸很大，120.8mm（长）X 42.5mm(宽) X 27mm(高)。看尺寸，这已经相当于一个随身CD的大小了，整机结构非常结实，说它像砖头一点都不夸张。

此台机器的屏幕很大，背光为蓝色，屏幕下方的导航键与周围的功能键可以实现播放、选曲、锁键等常用的操作，功能虽简单却很完整。

原厂机配的电池为1500mAh锂电池，介绍上说有长达4h的续航能力，但是用当今的眼光去看，4h真不算长。

PO输出推力很大，解析很高，但低频感觉严重不足。信噪比方面指标上说有103dB，LO听不到噪声，而某些机器PO却有较大噪声。

这台机器的问题比较多，比如电池续航就是个比较大的问题，PO输出低频太少也有些让人无法接受。但是优势也是很突出的，LO输出的声音的确很不错，而且内部架构也是我比较喜欢的全分立方案。最重要的是机器内部的空间很大，这就给后期改造创造了可能，于是我开始动手将能解决的问题逐一解决！

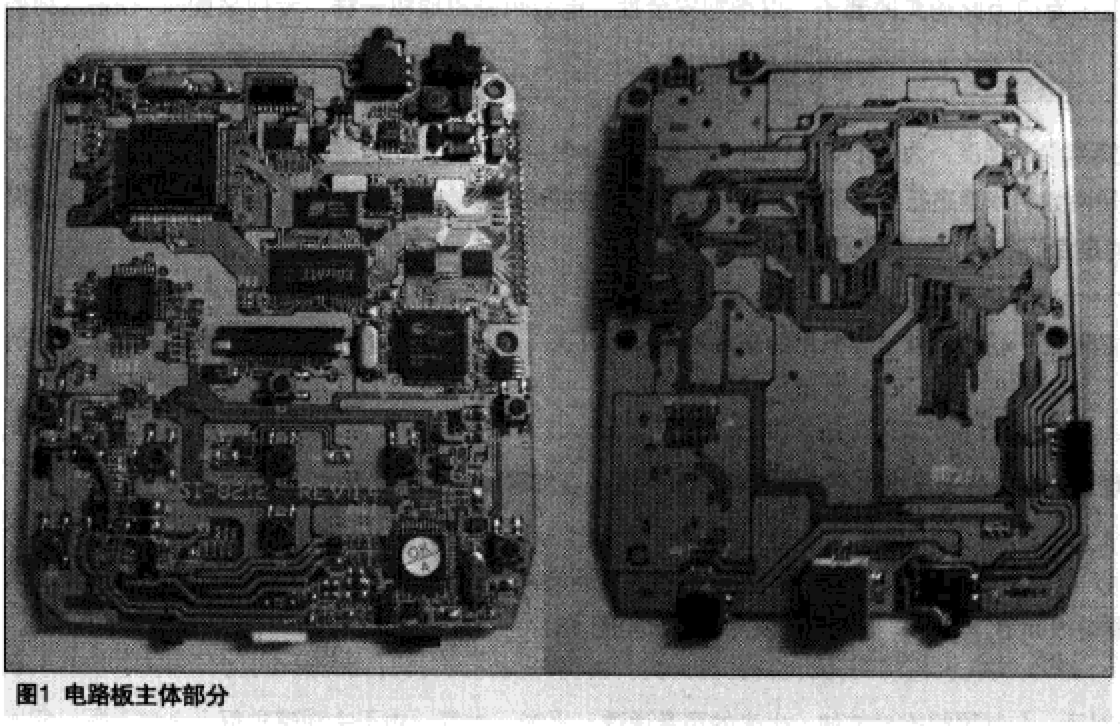


图1 电路板主体部分

改造之前先要弄清楚机器内部的构造和电路的结构。

打开机器拿出电路板（见图1）可以看到，板材是三层板，元件主要集中在正面，而背面除了一些接插件，基本没有太重要的东西。背面留出了很大的空间给硬盘、电池，还有电池仓旁边的一个未知的

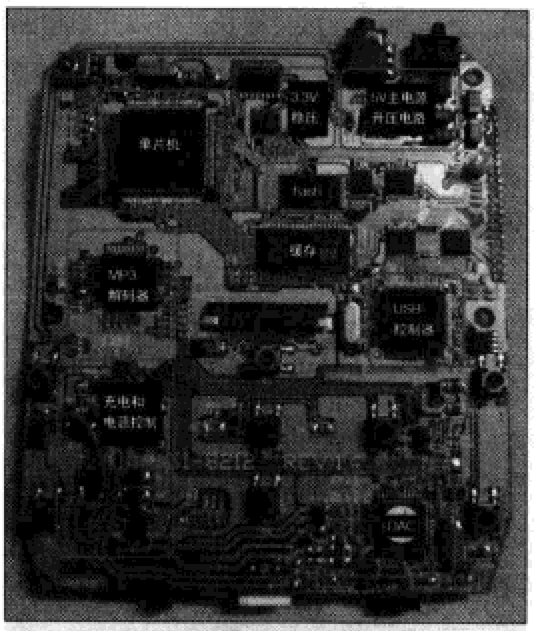


图2 电路板结构示意图

模块。

但是由于目前缺少相关资源，所以这个功能被我直接无视掉了，留出更多的空间给电池用于增加续航能力吧。

经过一端时间的摸索，我已经大致弄清了电路板中每个部分的主要功能，整体结构分析图如图2所示。

图2所示的电路板中，右上角“5V主电源升压电路”为MP3播放器的主供电电源，作用是将电池的电压升压，输出稳定的5V电压为整机供电。电路结构为标准的boost结构，PWM控制芯片为凌特的LT1308，官方资料称该芯片效率可达90%。旁边的“3.3V稳压”是一个小型LDO，可输出300mA电流，作用是将5V升压电路输出的电压稳压至3.3V，为整机中的某些数字芯片供电。LDO是理光的RP114x系列。

左侧“单片机”是整个电路的主控，型号为SH7034，看商标是日立的片子。2003年7月，日立与三菱的半导体业务合并改名为Renesas，在这之后的芯片就都改为Renesas商标了。这个机器出现在这之前，所以还是日立的商标。

单片机右下角的“flash”是一个闪存，型号为39VF040，应该是用于储存固件的。

再往下是机器的2M缓存，从缓存中读取数据可保证音乐播放流畅，并避免硬盘由于外力或振动导致的播放中断。实测30s左右就会读取一次硬盘。

“USB控制器”型号为SL11R，厂商是大名鼎鼎的赛普拉斯，质量绝对信得过，只是版本太低，USB1.1的速度是一个让人头疼的问题。

“MP3解码器”为德国微开电子生产的一款MP2/MP3解码芯片，型号为MAS3507D，用于将MP3格式文件解码并提供数字信号给DAC。

“DAC”同样也是德国微开电子的芯片，型号为DAC3550A，这款芯片经常与前面的MAS3507D搭配使用。机器的LO与PO都是从这个芯片引出的。

“充电和电源控制”部分主要用于管理内外电源的切换、电池充电以及屏幕背光控制。

了解了各部分的功能接下来就开始改造了。

提高电池续航能力

首先要解决的是电池续航的问题，解决这个问题最直接的方式就是增大电池容量。后面电池仓以及周围的空间都很大，打通后可装下更大的电池。按照后面所能装下的尺寸找了两片聚合物锂电池（见图3），尺寸为103mm（长）×52mm（宽）×6mm（高）。

两节并排做成2并电池组，尺寸为103mm（长）×52mm（宽）×12mm（高），重量是128g。

对锂电池来说，保护板是必不可少的，所以必须加上，见图4。

电池的保护板焊接有些不太方便，要保证两个电池对齐，先用胶带绑起来，然后再把电池电极焊接在保护板上（见图5）。保护板的引出线用的是硅胶外皮的高温线，内阻低，而且耐温性比普通线要好。

用胶带在电池上反复缠绕，一来是为

图3 两片聚合物锂电池

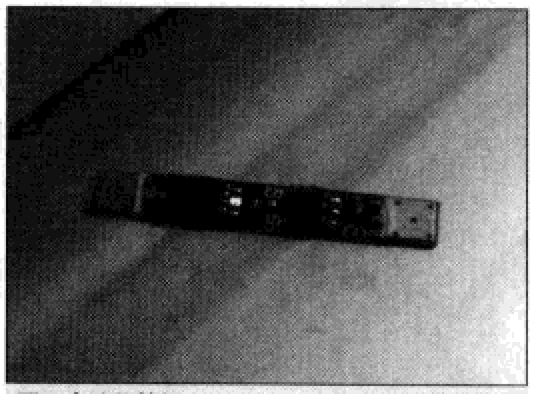


图4 电池保护板

图5 保护板焊接在电池组上

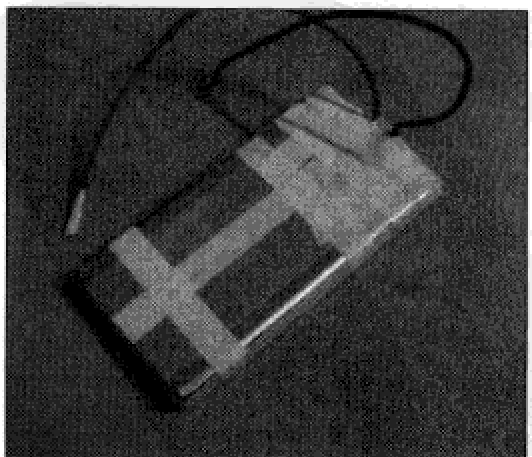


图6 完成后的电池

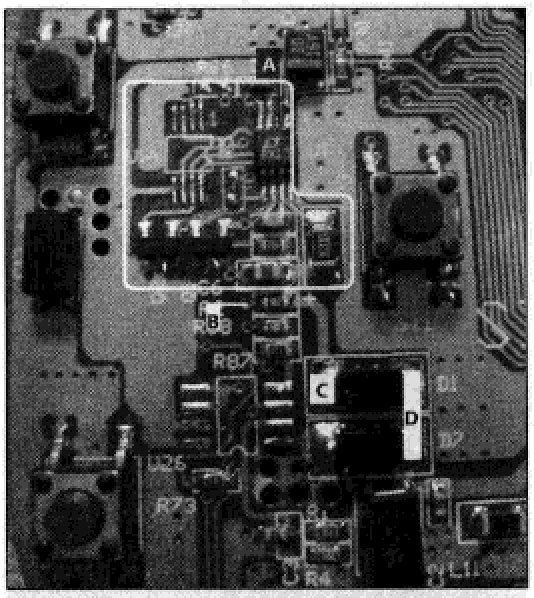


图7 充电电路部分

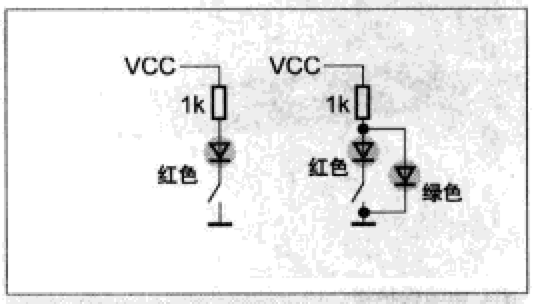


图8 充电显示部分示意图

了固定电池，二来是为了把焊点和电极保护起来，避免与外界发生短路，完成后的样子如图6所示，重量多了4g。

这样电池就做好了，做好后的电池先放一边，最后组装的时候再用。

充电指示灯：单色改双色

原机的充电指示灯是红色透明的聚光LED，可视角度比较小，而且在正前方直视会有刺眼的感觉，在充电状态下指示灯为红色，充满后红灯熄灭。虽然可以指示充电状态，但是充满后外界电源在指示灯上没有显示任何区别，所以计划将其改为双色指示，充电状态为红色，充满且外接电源的时候为绿色。

将LED拆下，根据焊盘以及周边的走线顺藤摸瓜，找到充电电路部分。为了方便分析，把之前板子上的飞线去掉了，而且把飞线连接的那个芯片也拿掉了，之后的电路板如图7所示。

LED阴极与A处相连，直接连接到IC的2脚，阳极与B处相连，B处经过一个1kΩ电阻连接至C处，C与D相隔一个二极管，而D处是外置电源接口正极的位置，也就是说LED公用阳极靠外接电源供电。芯片标识为“LTKQ”，是凌特的一款锂电充电芯片，全称为LTC1731EMS8-4.2，2脚通过内部接地控制LED。

简易的结构图如图8所示。图8中的开关就好比充电芯片，用于控制LED的2脚，图8中右侧的电路图是增加了绿色指示灯的电路。增加LED的方式非常简洁，有人难免会问，这样到底能否正常工作。在这里要解释一下：红色LED的导通电压为1.8V左右，而绿色LED导通电压偏高，有2V左右，翠绿色则更高，大约有2.8V。也就是说，当红色LED导通的时候，两端的电压并不足以使绿色LED发光，只有在红色悬空的时候绿色才会亮。如果使用黄绿色LED，由于两者导通电压差距较小，可能切换时候的显示效果不好，所以推荐使用翠绿色。另外，使用雾状散光LED可以使指示灯光线更柔和。

具体修改的操作方法也很简单，找个红、翠绿的共阳双色雾状LED，把其中红色部分的两个脚按照原先的孔安装上，然后再把绿色的阴极周围接地即可。如果找不到的红-翠绿的LED的话，可以使用一般的红绿双色LED，但是为了获得更好的显示效果，最好在绿色阴极对地的地方串联一个二极管，增加这一路的导通电压，做好后的照片以及效果如图9所示。

至于LED亮度调节，可以通过修改刚才说的阳极的1kΩ电阻来实现。目前的参数使用红-翠绿雾状LED显得亮度有些太高，所以可以适当增加电阻的参数，实测使用3.3kΩ效果较好，大家可以根据自己的需求进行取值。

改造充电电路

现在电池的容量已经增大了很多，而机器自身的充电电流却没有变化。这样的话，充电时间必然会很长，所以充电电路也必须进行改造。充电电路是在外接电源时启动的，而外接电源也可以直接供电，所以还是要先分析一下图7所示的电路部分的结构。

DC输入插座正极与D位置相连，负极接地（见图10）。D位置通过两个二极管分别指向C、E两个区域，E位置通过总开关连接至主电源升压电路，也就是说E位置是机器的供电输入端。C的走线指向绿色区域的电路，结合LTC1731的官方资料判断，绿色区域整体均为充电电路。

电池正极与E区域之间间隔一个IC，这个IC上写着1025，是日立的HAT1025R，内部是两个独立的P沟道场效

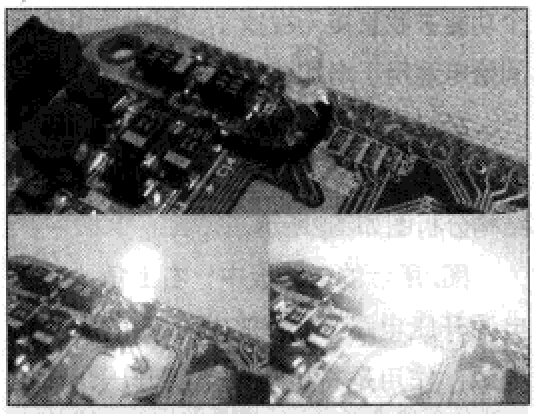


图9 改好后的充电显示部分

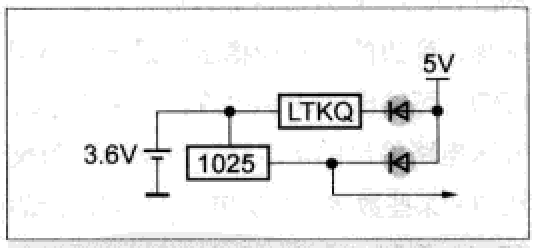


图10 充电部分的电路示意图

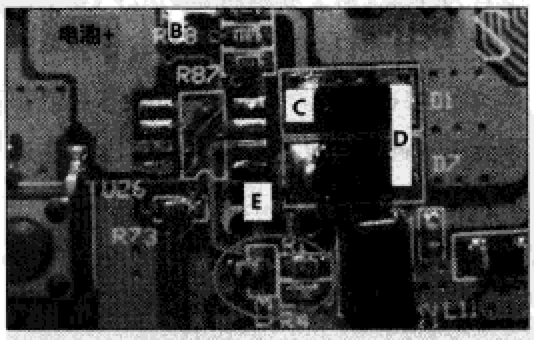


图11 PCB上的充电部分

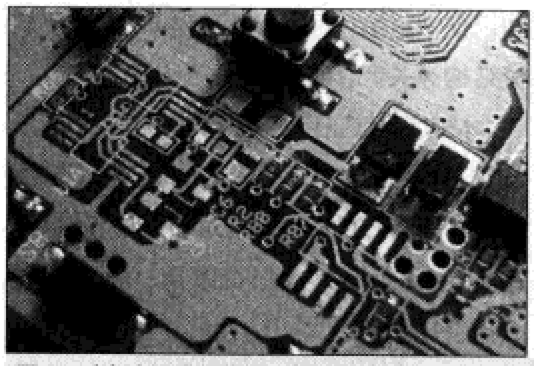


图12 对电路板进行加工拆解

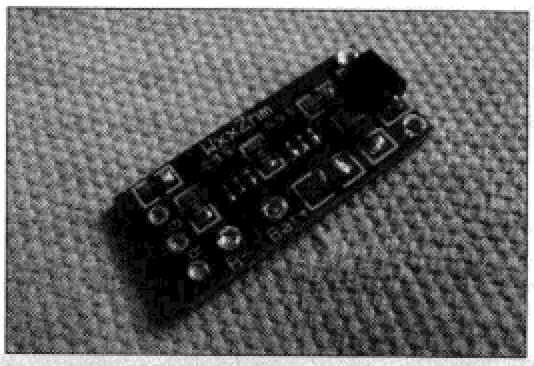


图13 改造用的4057充电板

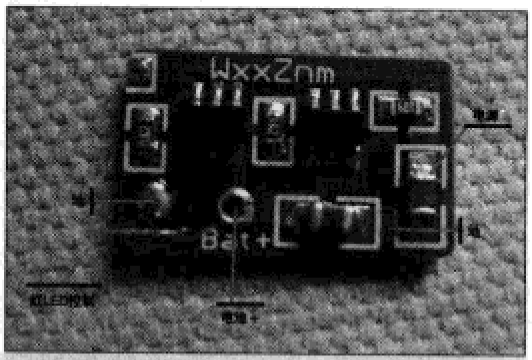


图14 经过处理后的小板

应管，用于控制电池与总电源的连接以及屏幕背光LED。当5V外置电源输入时，外部电源直接通过二极管作用于E区，给主电源供电，同时通过另一个二极管作用于C区域，给充电电路供电，从而在外部电源插入的时候实现充电功能。此时，E区域电位远远高于电池正极，为了保证流入电池的电流受充电电路严格控制，必须断开两处连接。当机器无外置供电的时候，电池正极应与E区域连接，从而由电池为机器供电。这样一来结构就比较清晰了（见图10）。

充电电路（见图11）是通过芯片外挂MOS来控制充电电流的，考虑到MOS内部都有寄生二极管，所以这套电路应该没有防反接之类的功能。外部电路相对也比较烦琐，功能上最大支持500mA电流，相对于6Ah的电池来说，这样的充电电流显然是不科学的，所以这部分必须要改掉。

充电电路也比较方便修改，由于原电路功能较差，所以直接弄一块充电电路板替换原有电路即可。

将图7中加框部分的电路原件拆掉，就变成了图12所示的这个样子。

现在市场上有很多现成的充电电路板，如4056、4057等，但是市场上的4056板子体积都偏大，所以经过一番比较之后我选择了由两片4057并联的充电板（见图13）。4057充电板额定充电电流是1A，虽不算太大，但和之前相比已经有了很大的改善。

把充电小板放在原充电电路的位置，感觉小板的尺寸还是有些偏大。由于电路中已经存在LED，所以小板上的指示灯部分可以剪掉，而下面的那个输入端的二极管也可以去掉，这样就可以减小板子的长度了。经过处理后的小板如图14所示，其接线位置如图15所示（这个板子剪的时候剪过了，把地线的过孔也剪掉了，所以这里标出两个地，到时候直接用线连接即可）。

连线的同时，我顺手把电容也换了，板子上的电容感觉不太靠谱，所以准备了一些稍微好点的电容用于替换板子上的电容。了解了每个电容的作用，根据功能更换的话就不至于那么盲目了。两个二极管下方的电容是并联在5V外部供电端的，外部供电多为开关电源，这里的电容可以在一定程度上滤除波纹，更换时可以选用容量大些的高频电解电容。左侧的电容与电池并联，原板上用22μF，这里的容量不需要太大，当然大点也没坏处，更换后如图16所示。

在电解电容上并联小瓷片电容以及CBB电容是我一直以来的习惯，如果条件允许肯定会加上。这样做的目的可以降低电容的高频内阻，降低电容发热，而且还可以提升电容的整体性能。

图16中充电板右上角区域中那个比较小的10μF电容可以不换，这个电容与电池并联，旁边接有两个串联结构的电阻。33kΩ、68kΩ两个电阻的分压点A分出两根线，一根直接进入单片机，另一根接播放键。

A线有两个功能，第一控制播放键，第二检测电池电压，也就是在屏幕右下角的电量指示。

实测A点电压小于2.4V会显示缺电闪烁，而A点电压大于2.65V会显示为满电，而且这点接地表示按下播放键。如果对电池电压检测精度有特殊要求，可以考虑更换两个电阻来进行调整。

在屏幕排线座左下角的那个22μF电容为屏幕供电脚的电容，负极接地，正极与3.3V稳压输出相通并连接至排线座的第

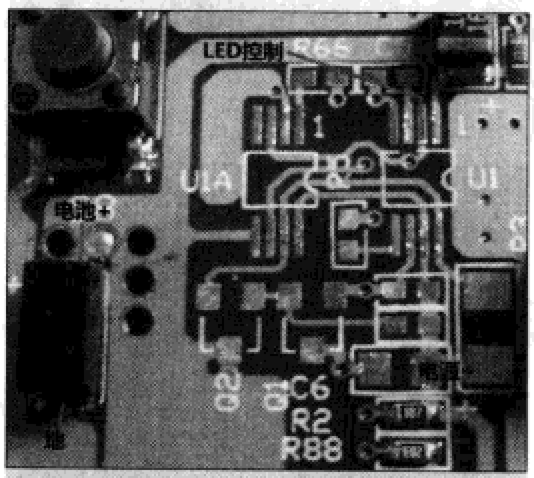


图15 小板在电路板上的接线位置

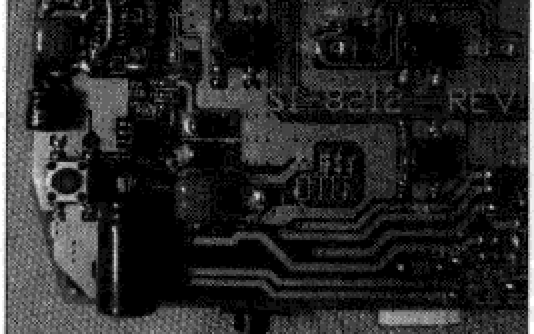


图16 进行电容更换后的电路板

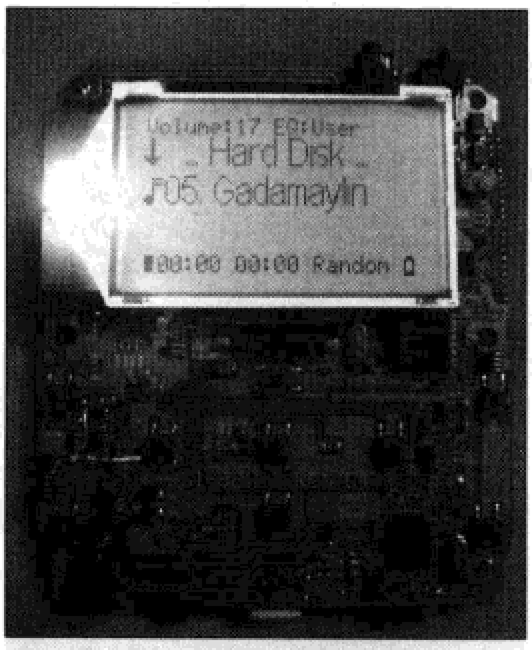


图17 背光颜色可依据个人喜好进行改变

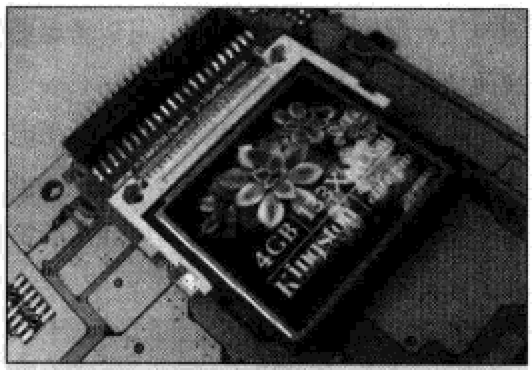


图18 改为CF卡储存

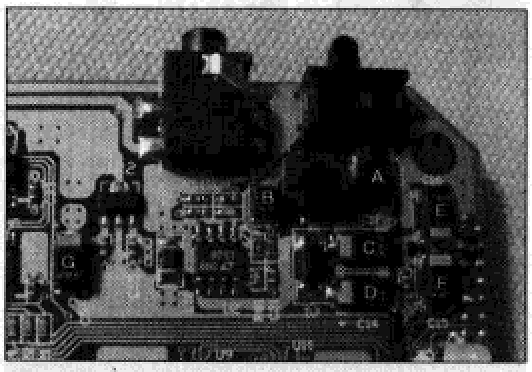


图19 供电电源部分

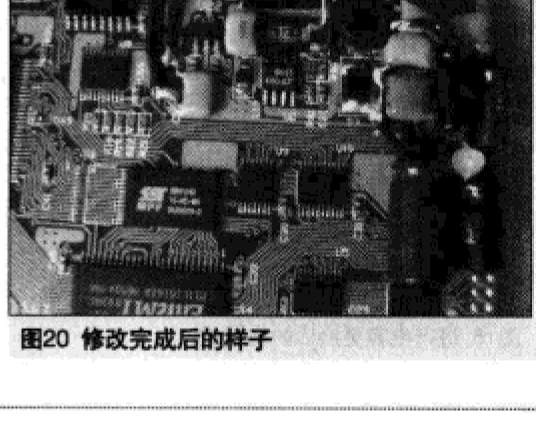


图20 修改完成后的样子

3脚。而排线座的第2脚是是背光灯的供电脚。播放键左上角的那个680Ω电阻是背光二极管的限流电阻，排线座2脚经过这个电阻连接至充电板下方的1025的5、6脚处，而1025内部除主电源控制外的另一个MOS就是控制背光的。1025的3脚与5V电源相连，4脚受单片机控制。当然，为保证稳定，还有两个电阻，一个为了拉高栅极电压，另一个为了传输控制信号。

改变背光颜色

说到背光，还有一个不算问题的问题，就是蓝色背光感觉有些晃眼，看起来不是那么清晰。如果换成白色会更加柔和、自然，而且会看得更清楚一些。更换步骤很简单，直接找个白色3mm的LED换上即可（见图17）。需要注意的是，要把LED底部那一圈突起打磨掉。如果觉得亮度不合适，可以修改播放键左上角的那个68Ω小电阻的参数，不过我觉得没什么修改的必要。

改CF卡

随机器一同购买的储存设备并非是2.5英寸硬盘，而是一个44针IDE转接板和MD微型硬盘。微型硬盘耗电稍大，而且这个盘所需供电电压是3.3V，机器硬盘供电却是5V的，所以发热也比较大。插上硬盘之后使用一会儿温度升高得很厉害。

使用微型硬盘，在静态无背光的情况下，电池端电流有350mA，播放时375mA，如果背光亮起耗电有420mA。有时甚至能达到900多毫安，不过只是一瞬间，很快就会降下来。应该和硬盘内部机械结构有关。

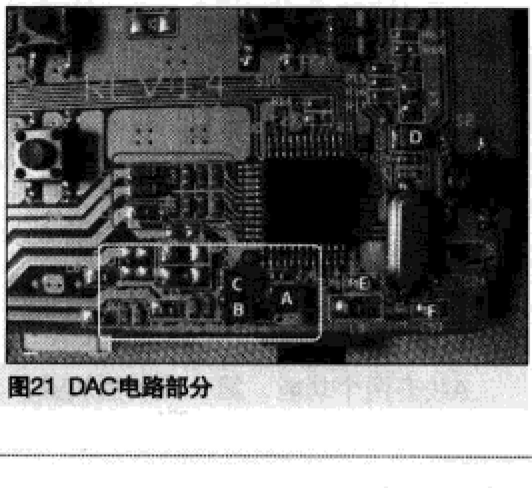


图21 DAC电路部分

MD盘和CF卡的接口是一样的，所以这时候想到改为CF卡的方案（见图18）。经测试这个机器对CF卡的兼容性还不错，很多CF卡都可以用，于是直接改用CF卡储存。

CF卡电压从3.3～5V都可以自动适应且能稳定工作，所以5V下发热不会很高。换成CF卡后，静态无背光时只有197mA，播放时230mA左右，背光亮起也只有280mA，节电近40%，功耗控制方面还是比较理想的。改卡后不再担心振动会损坏硬盘，而且续航能力进一步加强。

供电电源

供电电源是提供整机工作的电源，分两部分：5V升压电路与3.3V稳压电路（见图19）。

5V是由锂电直接升压过来的，不论锂电电压是多少都能保证稳定的5V输出。主控芯片为凌特LT1308，振荡频率为600kHz，内置开关管开关电流2.5A。锂电供电条件下可输出5V/1A，效率85%左右，某些条件下能达到90%以上，在效率方面还是比较让人满意的。升压电路具备电池低电压检测功能，参数低于3V时会输出一个低电平给单片机，机器整体的反映就是除了待机和停止键之外，其他按键全部失效。

如图19所示，电容A、B、C、D 均为boost电路中的滤波电容，A、B并联在输入端，C、D并联在输出端。A、B 两个电阻夹在电池、电感、IC之间，起到一定的隔离作用，C、D 则为直接并联的结构，改的时候可以直接用其中的一个。5V需要给DAC模拟部分以及硬盘供电，参数可以尽量选大一些。改造时这几个电容尽量选择频率较高的电容，而且最好并联小电容。电容E、F 为IDE硬盘供电脚电容，改CF卡后这几个电容起的作用不大，可以随便安装一个算是增大5V电压的滤波，参数随意。电容G是稳压输出3.3V的滤波

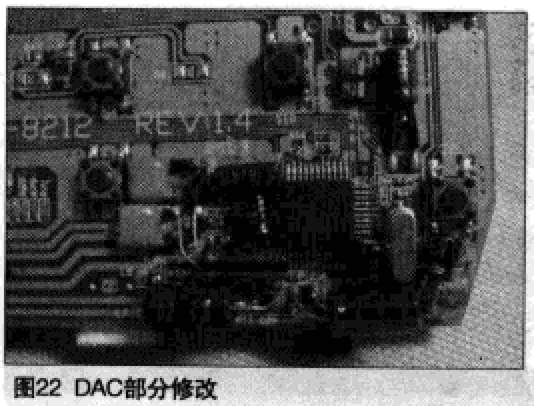


图22 DAC部分修改

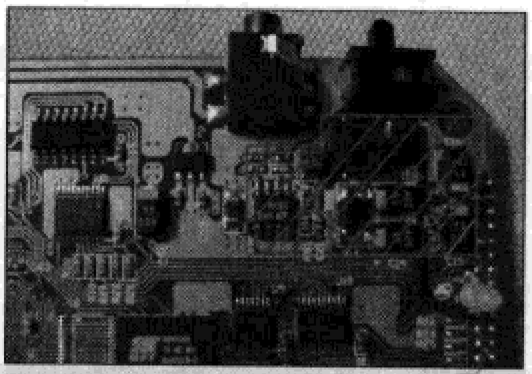


图23 造成噪声的部分

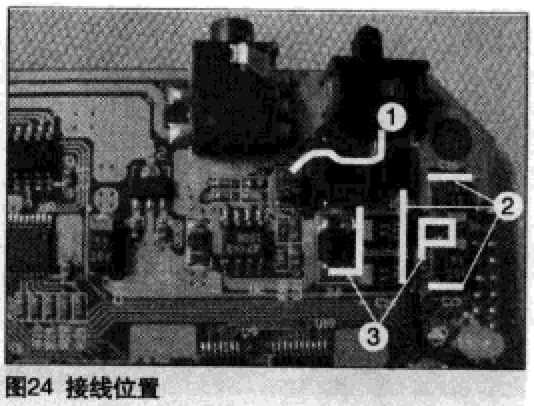


图24 接线位置

电容，所有数字部分都由这个位置供电，参数可略大。修改电容的时候要根据外壳以及屏幕的位置安装电容，否则机器可能合不上盖。改好后情况如图20所示。

DAC部分的改造

DAC芯片（见图21）集成了音量控制等功能，LO和PO都是从这里出来的。内部输出LO后经过一个类似放大器的东西输出PO，放大器的反馈网络外置，所以用起来很方便。

如图21所示，方框区域为LO输出部分以及PO的反馈部分，左边3根粗线是连接到LO插座的。芯片39、43两个脚为LO输出脚，直接串联680Ω电阻和4.7μF电容输出。这部分的两个电解电容可以换成更好点的，参数也可以提升一些，对LO音质会有些许改善。白色方框中有3个电解电容，电容A、B均为PO输出的隔离电容，参数只有10μF。我在制作耳放时用220μF的输出电容都觉得有点小了，这里只用10μF做输出，就不难理解为何这机器没有低音了，猜想这机器的原配耳机是否是高阻耳机？这两个电容直接换为参数大些的电解电容（见图22）即可解决PO输出没有低频的问题，而且效果立竿见影！

这个DAC的供电有两个，数字电路供电3.3V和模拟电路供电5V。3.3V电源与电容D并联，而5V模拟供电与电容E、F有关。E、F之间还有一个类似0Ω电阻或者是磁珠跳线的东西，板子上丝印符号是L3， 估计是磁珠的可能性较大，与E、F放在一起看就是一个酷似CLC滤波的形式了，只是这两个电容有些小了。这两个电容考虑增加参数，而且板子上有注明极性，改起来也方便很多，直接装上电解电容即可。

现在内部结构的改造基本上已经完成了，在把机器装回去之前最好还是上电测试一下，以免有问题再拆。通电后一切良好，但是却发现了一个小问题，就是机器的PO输出有低噪， LO却没有任何噪声。这个问题在白天肯定是无法察觉的，但是修改机器是在夜深人静的时候，而且测试时候用的耳塞灵敏度比较高。

发现这个问题后就一直在找原因，我一再怀疑是不是自己把机器改坏了，经过好一阵折腾终于找到了问题的原因。PO输出信号来源于LO，而LO却没有噪声，所以噪声应该不是DAC部分产生的。将PO部分直接飞线也未曾检测到噪声。PO输出线在板子上是从右下角DAC的位置从左边在板子上面绕了一圈，绕到了升压电路附近。而噪声的起源正是升压电路！由于升压电路对布线要求严格，原机中使用的是引脚很短的固态电解电容，所以滤波效果很好，而且对外干扰很低。起初为了能得到更好的性能换了更好的电解电容上去，但是因为空间受限，所以不得不把电容放得比较远，引脚被拉得很长，从而导

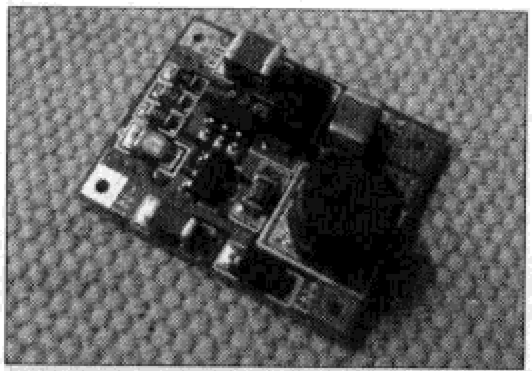


图25 升压板

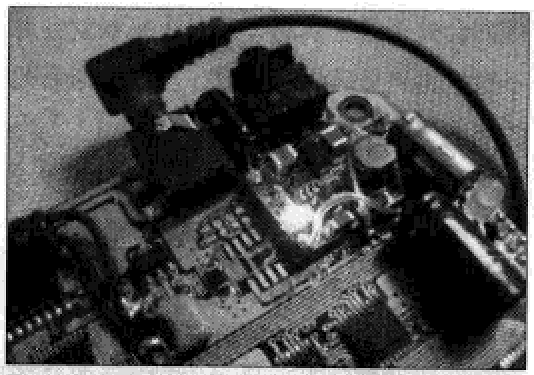


图27 通电后板子上蓝色小LED会发光

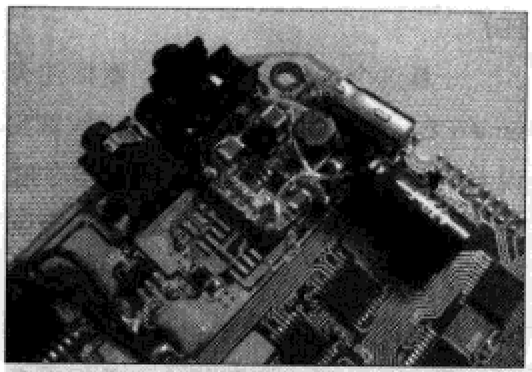


图26 将升压板安装到PCB上

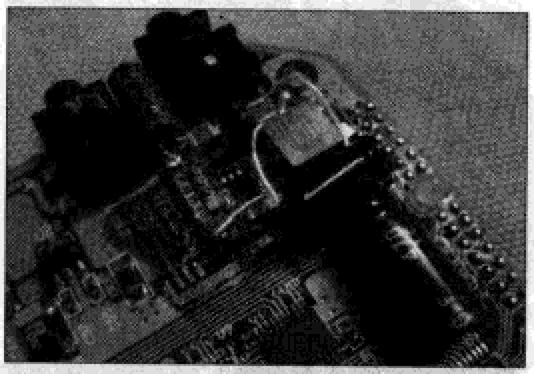


图28 换过电感的板子

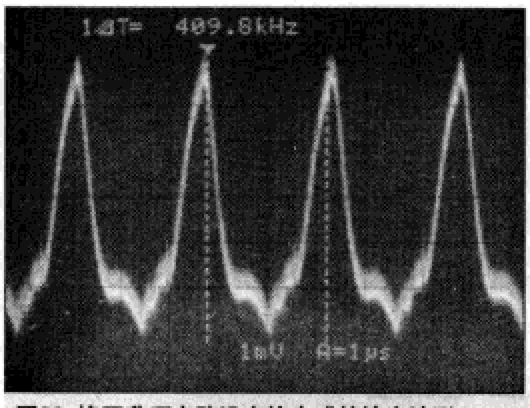


图29 换了升压电路没有换电感的输出波形

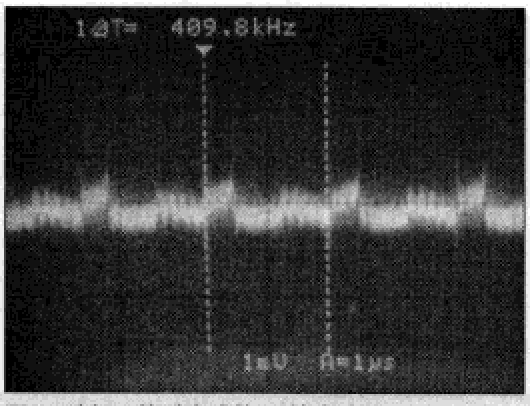


图30 改板、换过电感的PO输出波形

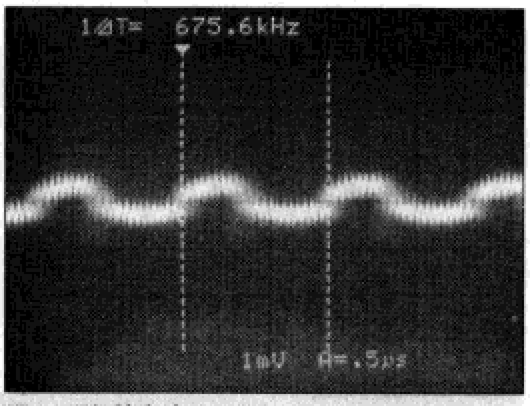


图31 原机输出波形

致了开关环路增大，形成了较大的电磁波干扰，而PO输出位置就在升压电路旁边，所以就有了低噪。也就是说原机设计得并没有问题，而是我自己的改造导致的低噪。

至于解决的方式，一个是装回原来的状态，另一个就是拿掉整个升压电路，然后换一块新的升压板上来，说一下后者的操作方式。如图23所示，将标注方框的部分整体拿掉。注意！下面的电阻、电容一定要保留！LT1308的8脚是电池低电压检测输出脚，而在输出脚的地方有一个由5V拉过来的1MΩ电阻用于将这点电压拉高。也就是说，正常状态下这点应该是高电平。如果这两个元件被拿掉，那么这个地方会处于悬空状态，那时候机器就会时不时地进入低压保护模式，出现类似假死的情况。

下面说一下接线位置，见图24。

❶为电池电源输入，❷为地，❸为5V输出。右侧的两个电容主要用于IDE硬盘供电，看电路结构，升压板接线应该接在左边❶、❷、❸位置比较好。升压板用如图25所示这种，体积小而且价格不贵。板子无法直接焊接，背面贴胶绝缘直接飞线（见图26）。

这个地方的滤波电容接在输入、输出的位置就可以了，另外硬盘电容那边还有位置，所以也接了一个。

升压板本身波纹也不是很大，若不并联电解电容只能听到微弱的白噪声，相比之前已有改善，并联滤波电容后低噪完全消失。通电后板子上会点亮一个蓝色小LED（见图27），功耗相对于这机器和电池来说已经可以完全忽略了。

另外，就是原机使用的是屏蔽式的电感，而这块小板上面的电感看上去比较差，于是找了一个密封式的电感换了上去。换过电感的板子如图28所示。

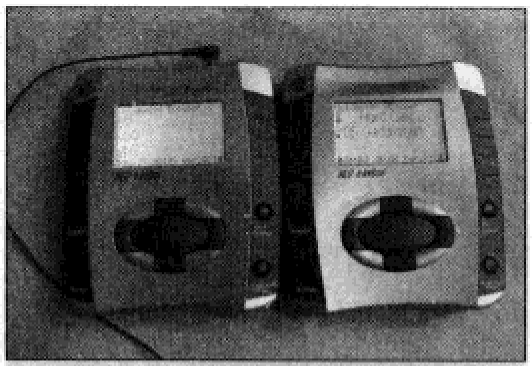


图32 修改完成后的播放器

实测对比

改好后用耳机实测听不到任何噪声，但是折腾到现在还是有点担心，所以准备测试一下波纹。

首先是换了升压电路没有换电感的PO输出波形测试，负载为22Ω（见图29）。

一看这个波形吓我一跳，看标注有6mV左右，频率为400kHz。这个波纹其实说大不大，说小不小，而且这个频率的噪声是人耳无法感知的，所以换过之后就听不到噪声了。

然后是改板、换过电感的PO输出（见图30）。看上去已经比之前好很多了，波纹减小到1mV左右，频率没变化。

最后是没有修改过升压电路的原机输出波形（见图31）。和之前相比，波纹的大小和换过电感的差不多，形状不太一样，而频率比之前换板的要高一些。

综上所述，由于原机升压电路不太稳定，所以最好都换了。换过之后在波纹方面会有明显的改善。在功耗方面，这个板子的效率要略高于原机中的升压电路，实测耗电，小了20mA左右。

不过，从这次改造看，有些原件并不是换了更好的就会有更好效果的，也许还会引来新的问题，特别是开关电源方面。

最终的完成品如图32所示。

总结

对于任何机器，要想改造都需要先了解机器的整体结构，然后根据结构进行修改。改造后的状况是：续航大大增加，可以达到20h以上；充电速度增加，充满6000mAh需要8h左右，双色充电状态指示，CF卡储存，机器不再怕振，白色背光清晰、自然。当然最重要的还是声音。在声音方面，提升最大的是PO输出，原本不堪入耳的PO现在也发挥出了它应有的水平，低频不再那么干，解析很高、推力也很大。不使用耳放的话，已经可以满足一般需求了。LO方面之前就不错，更换电容后会有提升，但不像PO提升那么明显，但也不错。

整体改造完之后，我本人一直在使用，对这台机器很满意。

◇JR　黄文华

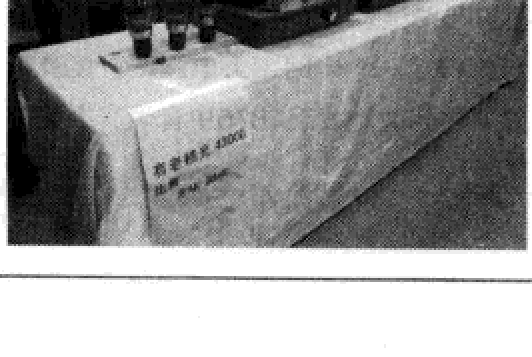
热情难挡

——记2012年广西柳州首届音响发烧友DIY作品交流联谊会

2012年10月13日，柳州市首界音响发烧友DIY作品交流联谊会在以国内体坛名将“体操王子”李宁命名的李宁游泳馆附设新闻中心如期举行。南国的十月天气依然炎热，但烧友们热情更高，欢快的气氛和热烈的场面令人难以忘怀。

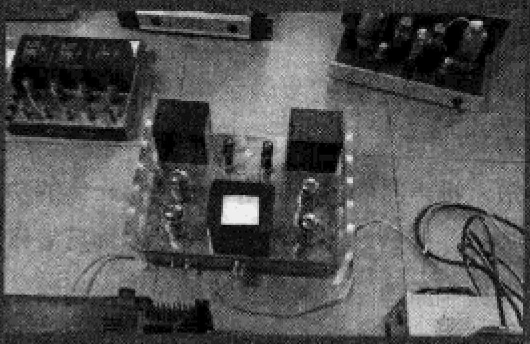
本次发烧友DIY作品交流共收到展示作品73件，其中DIY音箱4件、播放器3件，交流参评功放66件。烧友送来自己精心制作的“宝贝”和众多音响爱好者们一起分享音响DIY制作过程，一起分享精益求精校声所带来的快乐！

10月13日上午9:30分柳州市的DIY音响活动开幕式现场，各种大胆的DIY音响作品令人称奇，其中最为引人注意的无疑还是电子管功放。随着时代的发展，电子管虽然淡出了大多数人的生活，但仍有一群热衷音响DIY的发烧友对这些电子管视若珍宝，令其价值飙升。“电子管是用一支就少一支”，所以价值飙升就不奇怪了。而20世纪90年代柳产的“桂光”由于目前市面上的数量越来愈少，所以本次联谊展示会上，也有烧友借此机会拿出收藏多年的精藏“桂光”待价出售，且价格也不菲。

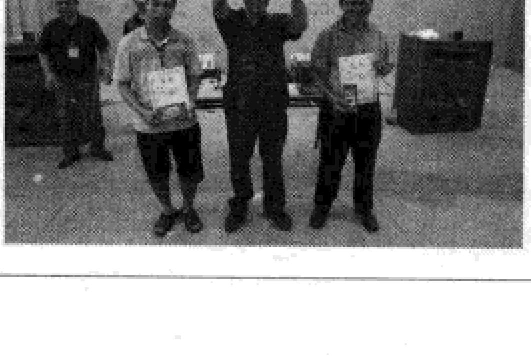


据悉，13、14日两天活动不仅吸引了来自区内南宁、桂林和玉林等地的烧友，还有来自贵阳、广东和上海等地的友人。有爱好是让人愉快的事，而追求和坚持爱好也需要毅力。这些发烧友们既能交流了心得，又交上了朋友。

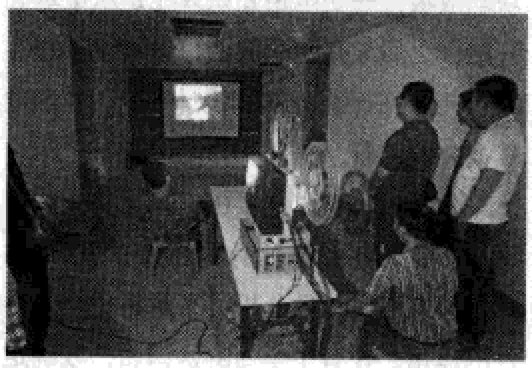
此外，参加联谊交流的作品有外来的美国和德国电器元件DIY制装的功放，还有柳州人热爱的“桂光”胆制作的胆机。这些DIY胆机有几百元的经济型，也有制作成本在5万元以上的高端机型。



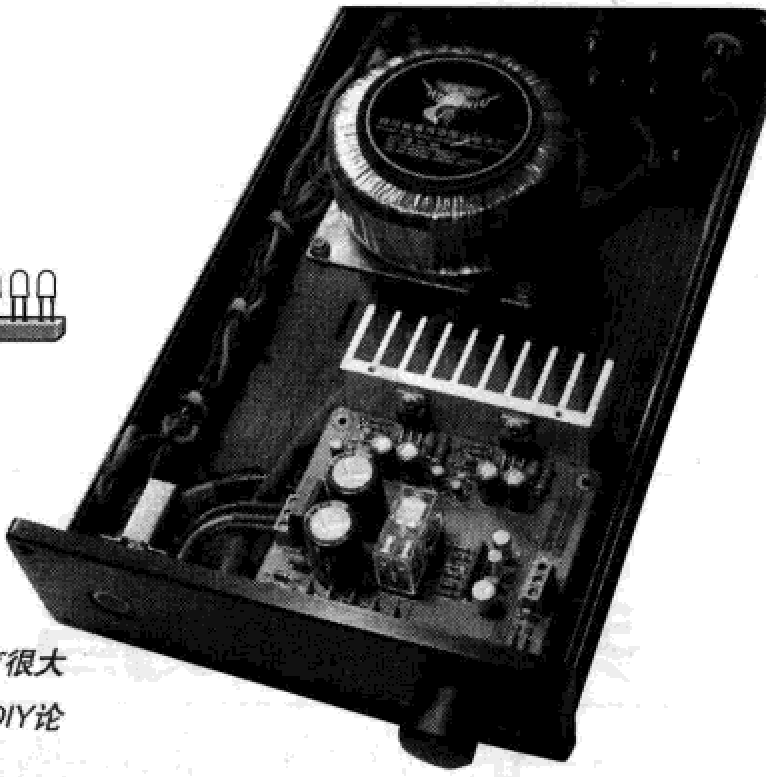
在这个为期两天的活动中，音响发烧友友好地切磋技艺、交流DIY心得，在参加评展的66件DIY作品中，经大会组织评委有序、客观地评比，共评选出前级功放一、二、三等奖各1名，后级功放一、二、三等奖各1名，鼓励奖12名，共计18名DIY作品获得奖励。



联谊会组委会还组织签到观摩烧友幸运抽奖活动（奖品由相关组委成员和商家赞助），为发烧友们准备了丰富的奖品，许多发烧友还在现场参加了怀旧电影放映活动。



10月14日下午6:30举行的简短闭幕式上，资深发烧友“美国李”讲道，柳州第一届DIY音响作品交流会之所以取得圆满成功，得益于社会各界、各地音响发烧友协会及商家对柳州发烧友联谊会的关心和大力支持，当然也离不开广大发烧友的积极踊跃参与。今后在不断完善、提高的基础上，主办方会组织更多的、有益的活动回报大家。



◇艺何

自制经典的1875功放

LM1875IC是美国国家半导体公司在20年前推出的产品，时至今日仍然有很大的存市量，同时期的这类产品，大都已消声匿迹，而这块芯片在国内的音响DIY论坛上始终是一个热点，它拥有老、中、青三代无数烧友粉丝。

平时我也经常逛一些音响DIY论坛，发现有很多人喜欢LM1875功放，于是我也萌发了自己动手设计一款1875功放的想法。

我DIY的这台1875功放的原理图参考的是国办推荐的标准线路，如图1所示。因为LM1875的有效输出功率并不大，现在的音源输出电压基本都能满足其需求，本着简洁为上的Hi-Fi原则，一般的应用完全没必要加前级放大，因此我采用纯后级放大。我是艺术类的文科生，为了设计这块功放板，一切电路知识只能是从最基础开始，之后又开始学习使用电路设计软件Protel 99 SE画原理图和设计PCB。学习过程痛并快乐着。

为了设计自己想要的PCB，我先是到网店、论坛中搜集所有的LM1875相关信息，并逐一作细致分析，了解每一个元器件的作用。在有了全面的认识后，我确定了作品的设计定位：性能好、小巧时尚、方便实用，并初步确定功放的PCB尺寸为100mm×100mm，是一个集电源、功放、扬声器保护、音量电位器为一体的功放板。之后，我先在纸上无数次地反复修改绘制原理图，画画是我的长项。当然，最后必须在电脑上用Protel 99 SE规范原理图，信号放大部分的电路，如图2所示。

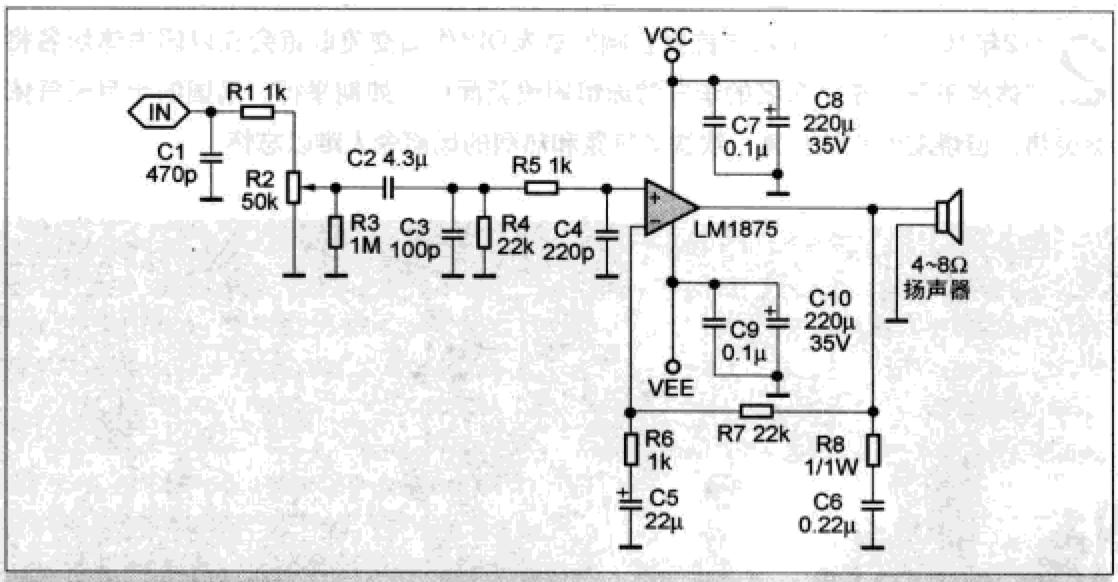


图2 信号放大部分的电路

本以为有了原理图，PCB设计就是排列一下元件，连接一下走线，应该很快就能完成，可是结果付出的精力，完全超乎了我当初的想象。我先按自己的想象构思了一个PCB元件布局草图，可是在Protel 99 SE中怎么也连接不上，静下来想想，觉得自己有点儿蛮干。随后，我认真学习了华为和中兴写的PCB设计规范，还购买了全部需要的元件，并且，每一个元件都用卡尺精确地测量后，建立自己的Protel 99 SE元件库，还总结了音响论坛中烧友们列举的许多制作问题。然后重新布局，绘制草图，设计PCB走线。又经过十几次反复地修改，总算画好了PCB图，开始进入初步测试阶段。先按PCB的布局用洞洞板焊接了一个电路，上电测试，接音箱试听，惊喜地发现1875中音确实柔美甜

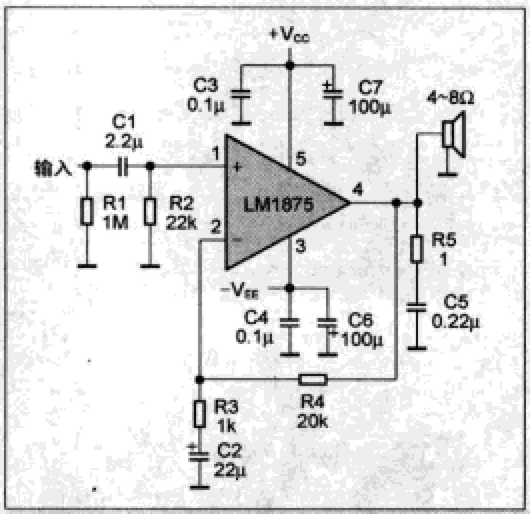


图1 国办推荐的1875功放标准线路

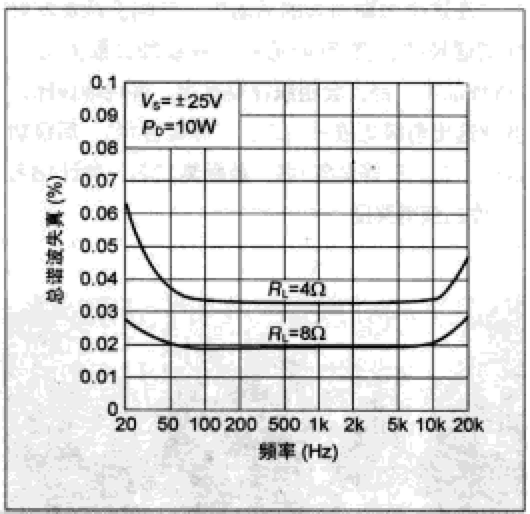


图3 频率曲线

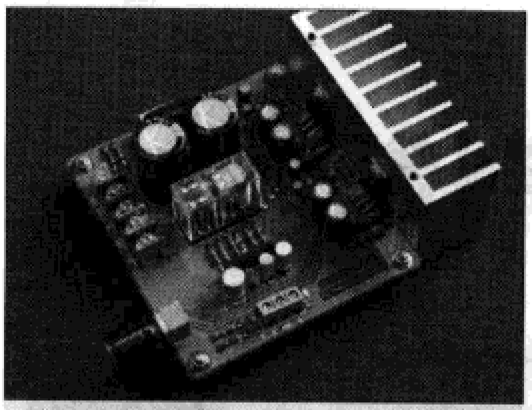


图4 元件焊接到PCB上

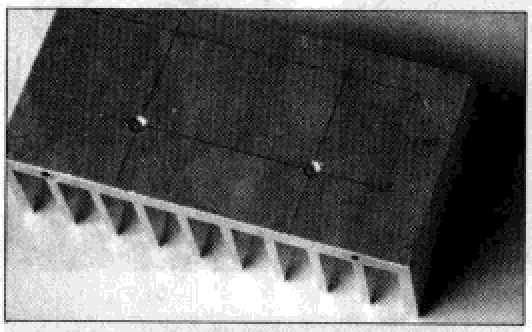


图5 重新为机箱打孔

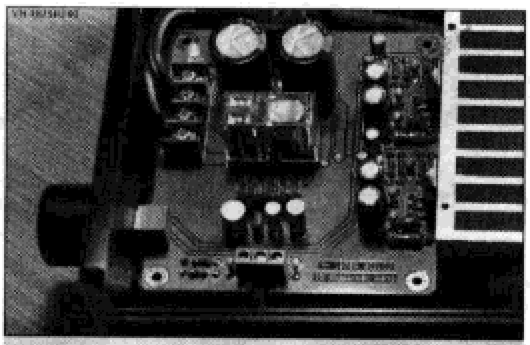


图6 四角铜柱可省略

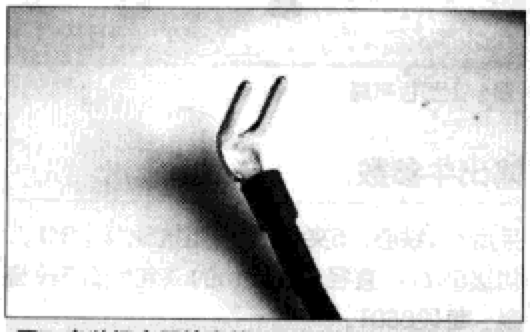


图7 安装扬声器输出线

图8 变压器

润，有点电子管味。这个特性在其频率曲线（见图3）上也能看出来，60～10kHz几乎是一条直线。只是感觉有点电流声，不太满意，只能重新布局修改走线。

随后，又购置了二手的示波器等设备，用于调整测试。并以尽可能好的音质效果要求，又购买了一些补品级发烧元件，重新焊接洞洞板。再次反复测试调整，整体效果已经比较满意，不过还是觉得应该有个对比试听才有说服力。于是，找了几个热门的1875功放多媒体音箱作参考试听，然后又作了些走线与布局的调整，可还是感觉不像自己想要的效果。

在朋友的建议下，我连续多日去音乐厅体验现场效果，想鉴别一下相同的乐曲，乐器所演奏的效果差别。没想到这一做法让我感受至深，例如，音乐厅里即使在前排听乐器演奏，高音再高也不会刺耳。就这样在反复的综合测试修改中，最终确定了PCB的设计图。本打算就这样完成这个功放板的设计，可是一想，为什么不把这个板子做出来与广大的DIY烧友分享呢？我又重新选购了大量的各种元件，分别测试其不同的组合应用效果，这个过程真是漫长而无聊。

在之后的元件测试过程中，我认识到不同的品牌厂家相同的类型产品，其性能音色各不相同。就电容而言，不同的型号选择与搭配，可以任意决定声场的远近，很有意思。在这个期间我还发现，必须要对原理图和所采用的每一个元器件，包括机箱架构、听音组合系统等十分了解，才有可能设计出自己想要的PCB。又经过反复细致地测试修改，最后总算完成了心仪的PCB设计图。再次检查无误后，发送PCB厂家制作。记得那天收到PCB时很是激动，因为，从开始有想法到最终成功制成PCB，不知不觉已过了三年，期间还耽误了许多的作画时间，遗憾的是制作过程中没有想到拍图留影。很快，顺利焊接好所有的元件后，觉得看上去很漂亮，如图4所示。

在保证性能的前提下，所有的元件选择与布局都是遵循我的审美原则。焊好的板子在通电测试前，我先洗了把脸，然后虔诚地按动开关，非常顺利，一切测试无误。可能是运气，这块样板左右终点电压才零点几毫伏。

随后，我买了个黑色的全铝机箱准备装进去，却发现机箱面板电位器开孔比较高，只好把散热器卸下，抬高定位重新钻两个孔，如图5所示。

都说1875的发热量不可小视，感觉原先配置的散热器不够大，接通18VAC电压长时间、大音量肯定受不了。不过可以在机箱底板上开两个孔，然后把散热器固定在机壳上。

在安装固定散热器时我先涂了些导热膏，这样更利于散热，实际应用效果很好。下面只需要把电位器螺帽紧固后就可以了，板子承载不是很重，四角的铜柱都可以不用了（见图6）。安装扬声器输出线时，我用了个小插件，焊接好后用热缩管套上，觉得这样在下次拆装时，很方便，也很好看，如图7所示。

变压器是一切功放动力之源，不可轻视。受箱体大小限制，我采用的是全铜线额定100W恒达变压器，如图8所示。

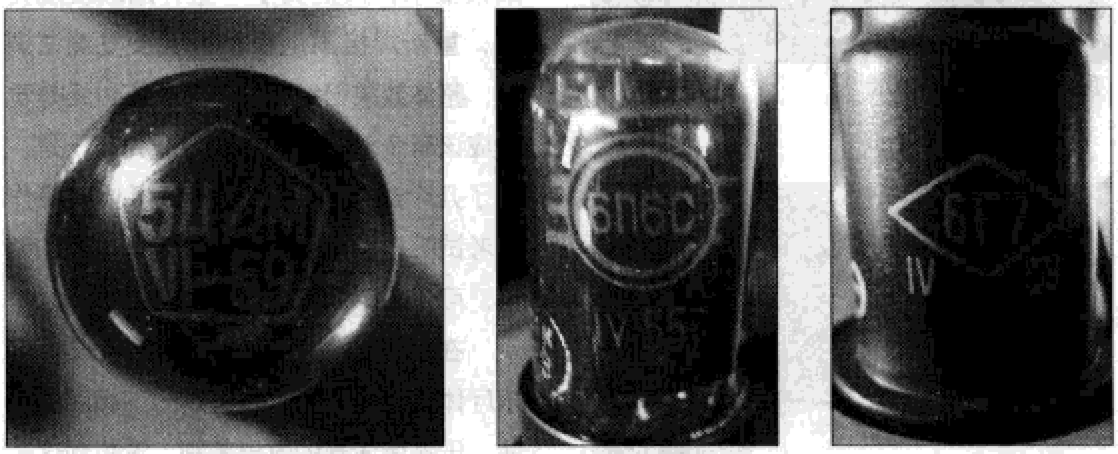
我还是比较喜欢机箱内简洁一点，每次看到烧友们做的机箱中那些“盘丝洞”就很抓心，最后，展示一下我的爱机内部全貌，如题图所示。

全部安装测试完成后，我沏了壶龙井茶，用惠威M2书架音箱细细品味，放松身心，美美地听了一下。总体感觉音质纯美，音色甜润，解析力很好，没有一点噪声。我很满意，一切的辛苦与付出都是值得。科技是物质世界客观主体表现，文化是推动社会发展的内在动因，一流的音响设计即是科学与艺术完美的结合。1875虽好，但也仅仅是一款入门级Hi-Fi功放，没有必要与一些价格不菲的“大甲机皇”去比。仅以本文回顾一段难忘的DIY发烧日子。

◇夏冰

一款独特的“茶海”胆机制作

每一次创意，都来自于生活中的灵感。最近发现品茶用的茶海做胆机机壳是很好的创意，遂决定用茶海制作一款胆机，一边喝茶一边听歌，一定别有一番滋味在心头。



5Ц4M　　6П6C　　6Г7

图1 前苏联生产的电子管

元件选取

这台胆机全部选用前苏联生产的电子管（见图1）。

前级放大管为6Г7（国内相似型号6Q7），是一只双三极二极管，在此电路只用三极管部分，二极管部分接地，以防有干扰。

后级放大管选用6П6C（等同于6V6GT、6P6P），几十年来，其在国内外中小型功放和收音机中被广泛使用。6V6GT小功率束射四极管于20世纪30年代由美国RCA公司研制生产，至今已经有70多年的历史，素有“高山流水”之称。6P6P管屏极电压为300V，功耗为15W。采用该管制成的各种中小型推挽功率放大器的输出功率可达10～20W，其品质一流，经久耐用，音色通透亮丽，细腻柔和，圆滑流畅。

信号耦合电容选用的是TCC的，整流管是前苏联的5Ц4M（国内型号是5Z4P）。电源滤波电容是天河孪生电解电容，其余的电阻、电容也都是些小补品元件。

这台胆机的电路图如图2所示。

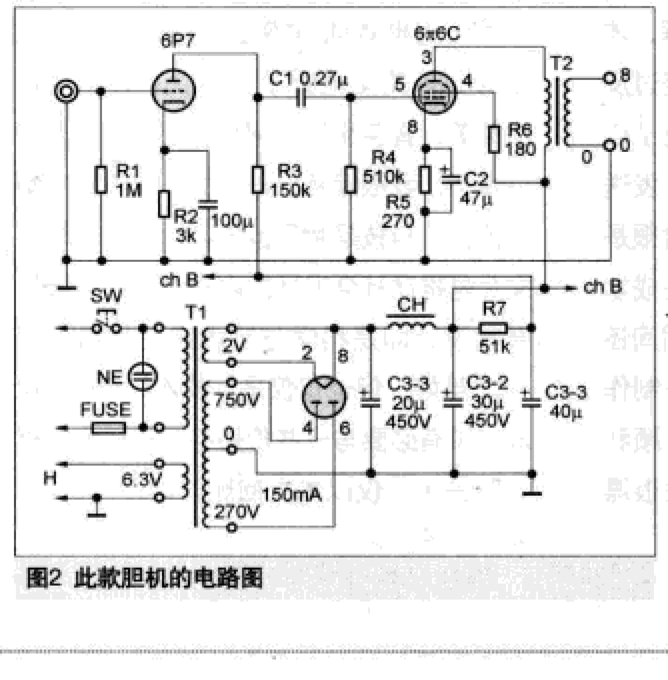


图2 此款胆机的电路图

机器制作

本机主机壳采用市面上常见的竹制茶海来进行改装，前面板左边为旋转式电源开关，右边是音量电位器，旋钮均为铜制旋钮（见图3），均为金黄色的，看上去正好和机壳配套。

上盖板是以原茶海底板为主，再在上面铺一层5mm厚的铝板用以固定电源变压器、输出变压器和电子管等（见图4）。在铝板上面喷一遍草绿色漆，等干之后再喷一遍清漆，以增加其光滑度和耐磨度。

输出牛罩为一次冲压成型，线路采用搭棚焊接，一点接地，

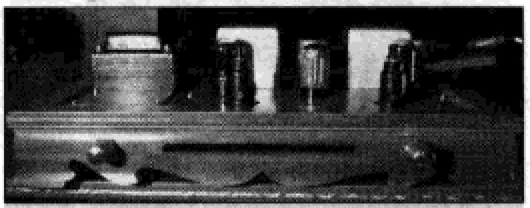


图3 电源开关（左）和音量电位器（右）

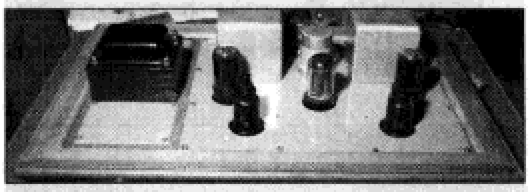


图4 上面板布局

输出牛参数：

采用Z11铁心，5夹4绕制，阻抗5kΩ：8Ω。
初级5kΩ：直径0.19mm的漆包线分5段绕制，每段660T。
次级8Ω：直径0.67mm的漆包线分4段绕制，每段36T。铁心采用顺插方式，气隙0.12mm。

电源牛参数：

初级220V：直径0.57mm的漆包线绕748T。
次级250V：直径0.19mm的漆包线双线并绕850T。
次级5V/3A：直径1.22mm的漆包线绕17T。
次级6.3V/5A：直径1.56mm的漆包线绕21T。

中国传媒大学传媒博物馆开馆

◇本刊记者

2012年10月26日上午，中国传媒大学传媒博物馆开馆仪式隆重举行。教育部、国家广电总局等部门的领导以及来自全国的传媒类藏品收藏家、传媒专家出席了开馆仪式。

中国传媒大学传媒博物馆于2009年开始筹建，是国内首家集“传媒历史与文物、传媒产品与展示、传媒教育与研究、传媒技术与陈列”的“四位一体”专业性博物馆。现有馆藏12000余件，其中文献档案照片1000件、音视频资料4000件、文物7000件。正在建设中的传媒博物馆包括传媒教育馆、传输馆、广播馆、电视馆、电影馆、广告馆、印刷馆、动漫馆、口述历史馆、体验馆等10个分馆。博物馆通过对传媒领域成果的集中展示，展现传媒发展的历史风貌和行业的整体水平与综合实力。各分馆将借助文献、图片、实物、多媒体等手段，从不同角度诠释传媒各领域的历史演进，感受传媒的发展变迁。值得一提的是，各展馆均设有观众互动环节项目，例如模拟的中央演播厅，参观者可以亲身体验模拟的中央电视台节目录制的全过程。

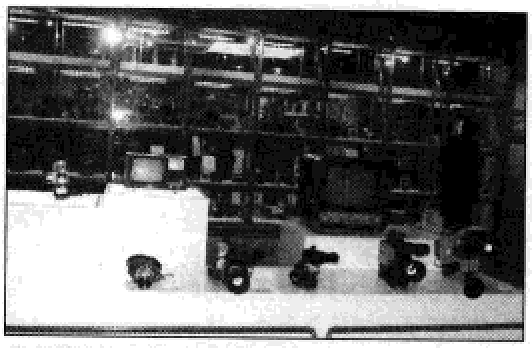
开馆仪式举行之际，传媒博物馆已经完成了一期工程，展览面积近3000m²，由广播馆、电视馆、电影馆、传输馆4个分馆组成，形成“四馆七厅一条传媒科技走廊”的展览格局，重点展示中国广播电视事业从诞生、初步发展到全面崛起的历程。

在传媒博物馆的建设过程中，中国传媒大学注重建立收藏者与博物馆之间的良好关系，加强双方的交流与合作，对收藏家和博物馆具有双赢作用。开馆当天，除了领导和传媒专家以外，著名的传媒类藏品收藏家也被邀请参加了开馆仪式，他们积极为传媒博物馆的建设进言献策，甚至还贡献出自己的藏品作为博物馆的展品。

传媒博物馆揭牌仪式后，全体领导和嘉宾在工作人员的带领下参观了传媒博物馆。在参观过程中，讲解员为大家逐一讲述各个分馆的历史和每件展品的展出意义。老收音机作为一个有鲜明年代特点的展品成为传媒博物馆中的一大亮点。各个年代及代表厂商的老收音机整齐地陈列在博物馆中，这些代表着当年国产民用电子工业精品的设备激发了参观者们对那个火热年代的深情回忆。

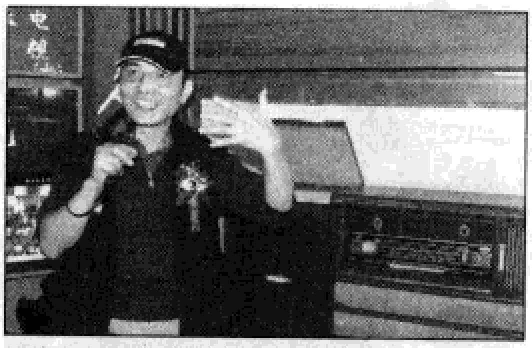
在参观到熊猫牌1502型收音机时，国内著名收音机品牌德生的创立者梁伟先生按捺不住心中的激动，主动为参观者讲解起了熊猫1502背后的故事，让大家的参观更加尽兴。

传媒博物馆作为传媒发展的重要记录者、叙述者和传承者，集中展示了现代中国新闻传媒事业发展成果，讲述了现代中国新闻传媒的历史变迁，并展望了传媒行业的发展趋势，相信更多的参观者可以在传媒博物馆中了解我国的广播历史、传媒文化，以及广电技术的发展。



传媒博物馆中的各类影视展品

传媒博物馆里的国产老收音机藏品



梁伟先生为参观者介绍展品背后的故事

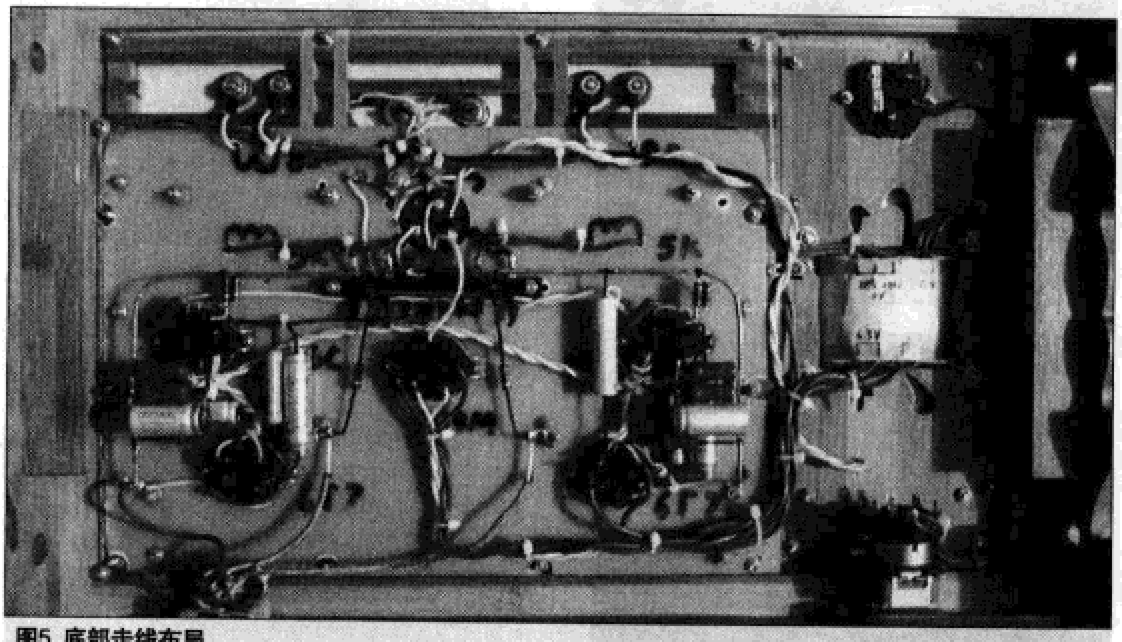


图5 底部走线布局

内部连线均为军机拆机镀银线，管座也是军机拆机的电木管座，整机放大部分为左右对称设计，连线尽量贴底板走线，以杜绝干扰（见图5）。

试听

胆机的声音相信大家都不陌生——温暖，这也就是它的魅力所在。没有石机的那种刺耳声音，唯一的缺点就是输出功率稍显不足，只有4.5W的输出，但也能满足大多数人的听音要求，毕竟花费不是很多，喜欢的朋友可以试一下，感受一下“茶海”胆机的味道。

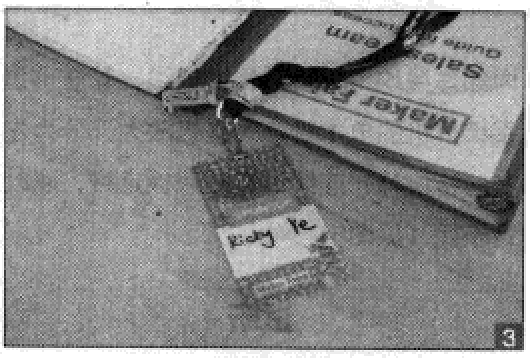
◇叶琛

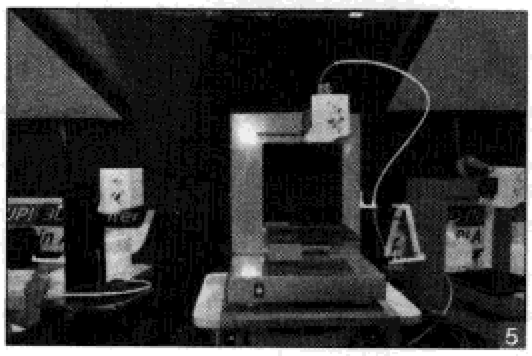
创意来自生活　创造无处不在

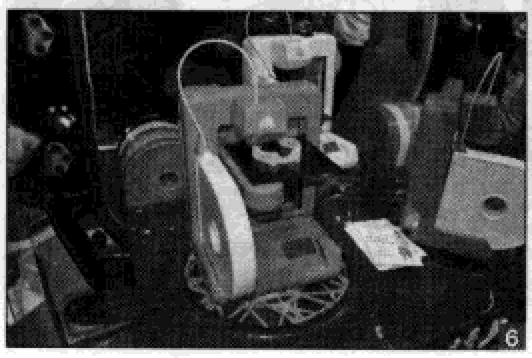
2012年湾区 Maker Faire参展记

每年5月在美国旧金山湾区举办的Maker Faire是全球最大的创客聚会。超过1万名创客们带着他们最酷、最新奇的作品来到这里，和超过10万个参观者分享他们的创意和作品。Maker Faire是美国O'Reilly Media集团主办的最富盛名的创客展，自2006年第一届开展以来，已经逐渐成为全球性的创客聚会。每年都有不同规模的Maker Faire在世界各地举办，内容涉及到各个领域，包括互动艺术、机器人、3D打印、电子作品、工程技术、音乐科学等。而每年5月的Maker Faire都会在美国加利福尼亚州湾区举办，离湾区不到半小时车程就是著名的硅谷，互联网巨头们，比如Facebook、Google都在此地诞生。硅谷浓厚的创业氛围或许能解释这里为什么是全球最大的创客聚集地。首次参展的DFRobot作为本届Maker Faire展会唯一来自中国的赞助商，除了展示国人的作品外，我们更直观地感受和接触到了创客文化和创客精神。下面就开始我们的创客之旅。

本次Maker Faire展出的地点是在美国加利福尼亚州，正式展出的时间是5月19号、20号。加州5月的天气非常晴朗和舒适，白天最高气温不超过25℃，晚上不低于15℃。舒适的天气带给了我们异常愉快的心情。







1 由于行李重量的限制，我们没法带太多的作品到展会，但也带了整整两个行李箱。至于里面放了什么东东，晚点揭晓。

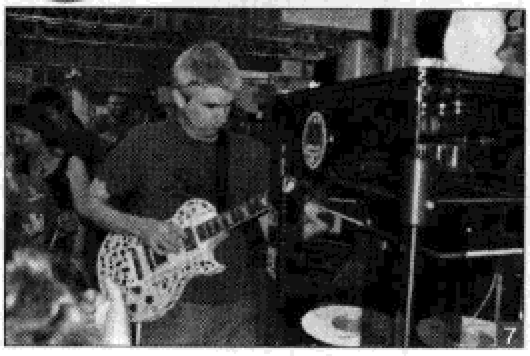
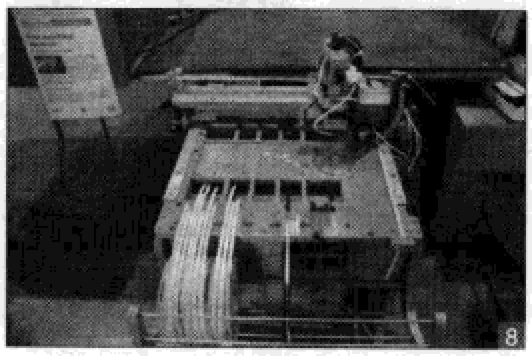
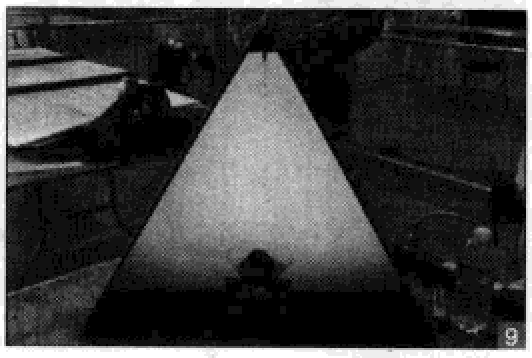
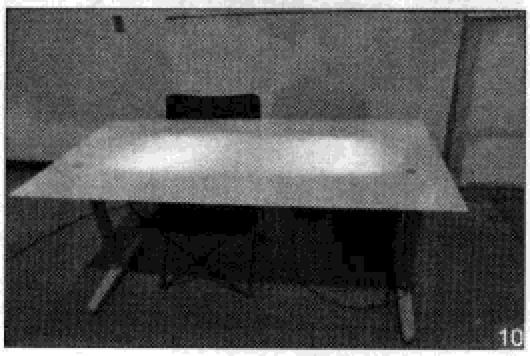
2 由于时差的关系，我们早上7点多就到了展会现场，没想到勤劳的美国人民也早早开始工作了。在主办方的接待处报到的时候，工作人员给我们解释了一堆注意事项，比如火警、紧急避难处等。由于到得早，还有免费的咖啡和早餐，非常贴心。

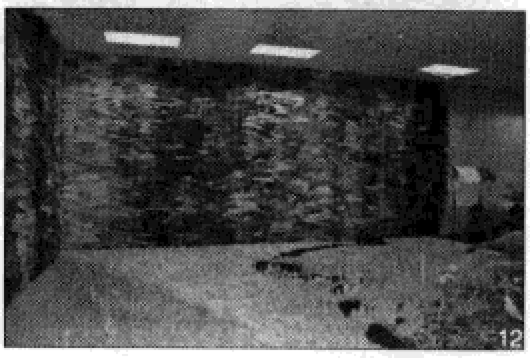
3 这是我们的胸牌，做得相当精致，我想我会保留一个。

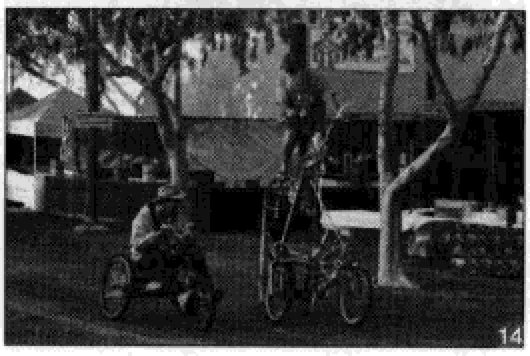
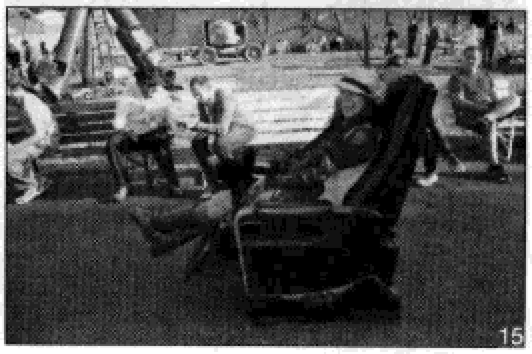
4 整个展会由两个主要的室内展馆，以及一个超大的露天场地组成。室内展馆分别为创客展厅和艺术展厅。这是创客展厅，也是本次展会的主展馆。所有重量级的作品和厂商都在这个展馆。图中是Maker Faire举办方的主题演讲区域，从早上11点30分开始，每半小时都会有一个主题演讲，直至展会结束。

5 在这个3D时代，3D打印机无疑是本届Maker Faire上最热门的产品。大概有13家公司和团体展出了最新的3D打印产品。

6 这个是儿童版的3D打印机，零售价1600美元，折合人民币约1.1万元。这个打印机可以专门给小朋友打个性化的积木、公仔娃娃、卡通人物等。



7 这是本届展会中最大的3D打印机。图中的电吉他的壳体就是使用右边黑色的3D打印机打印出来的。不知道还有什么是不能3D打印的？未来是不是生活用品都可以3D打印出来呢？

8 本次展会上最大的发现是这个“神器”——一台自动DIY的贴片机。这台机器没有内置焊台，能将SMD元件自动贴放在PCB上，在贴片元件放置完成后，只需要放在烤箱里烤一下就可以完成SMD的焊接了，据介绍，微波炉也可以完成相同的工作。是不是意味着以后贴片式电路板都能以非常低廉的成本制作了呢？

9 这个是一个魔法金字塔，在不同的音频频率下，水流能摆脱地心引力，实现悬浮和倒流。难道是我们发现了反重力机制？当然没有，只是我们的眼睛又一次欺骗了我们。其实水流还是遵循现在的物理原理，重力效应也没有消失，只不过通过不同的音频频率来实现水滴的不同共振形态，从而形成一个相应的波峰，也就是图中看到的大水滴，而透明的普通水流在背景光下变得不够显眼，看上去像消失了一样，换个角度看还是能看到水流是往下流的。这是个非常棒的艺术品。

10 这是一个互动的彩虹桌。

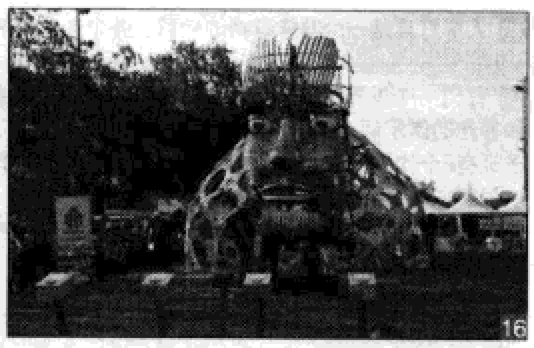
11 能随音乐变化的环境吧台是不是很酷？完全采用开源硬件制作的作品可以随着音乐跳舞。展会中最休闲和舒适的地方就在这里了。

12 创客怎么能不关注环保呢？这是一个完全由再生纸材料制作的城市模型。作者整整工作了2天才完成这个作品，提倡绿色城市、环保的生活理念。

13 谁说只有人类才能创造艺术作品呢？使用蜗牛来作画就是一个非常有趣的创意。看看蜗牛们创作的抽象派作品吧！

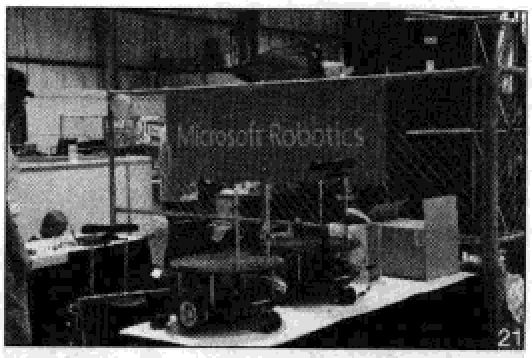
14 各种各样的自行车永远是自行车爱好者的最爱。创客的真谛就在于能够自己动手来制作自己喜欢的自行车。没有什么不可能，只要能自己动手做。

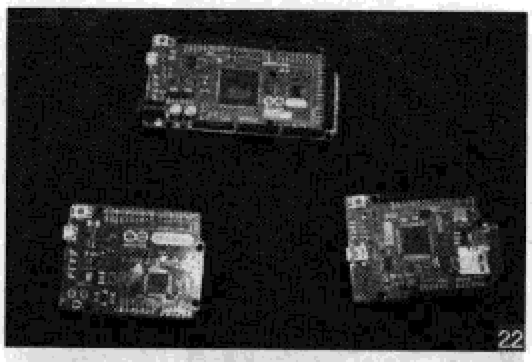
15 懒人从某种意义上也是驱动世界进步的动力，一个会移动的沙发听起来怎么样？现在我明白为什么美国体重超标的人这么多了，除了垃圾食品外，缺少运动也是一个主要原因。有了这个移动沙发，会不会增加更多的超标宅男？当然更好的应用是给残疾人，这个作品可能是残疾人车的豪华版。坐在上面真的好开心！

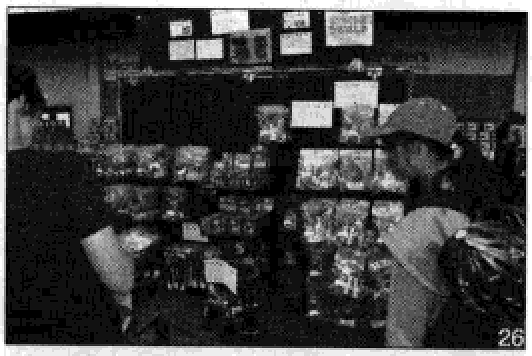


16 室外的大型艺术品永远不会在Maker Faire中缺席。图中是一个大型的人脸，可以通过一些互动来实现眼睛的转动。

17 互动伞是一个非常酷的作品，使用了Arduino作为控制器，能根据作品周围人群密度来决定是否喷火、发光、喷雾。







18 人形灯具是一个非常奇特的创意。各个关节都能随意放置，灯的高度和照射角度都可以随意调节。希望不久能在IKEA看到这个产品。

19 任何一个世界性的顶级创客聚会，没有机器人都是不能想象的。在整个会场，有为数不少的机器人团队和俱乐部的作品。硅谷机器人俱乐部就是其中一个活跃和多产的俱乐部，他们这次展出了十几台机器人作品。从小型的桌面机器人到大型的野外机器人，大小不一，功能不一。据说俱乐部最小的机器人创客只有11岁，已经有2个作品了，我不由想套用一句话“做创客要从娃娃抓起”。

20 可爱的R2D2是所有星战迷的最爱。在会场，有2台1:1高仿R2D2到处闲逛，与参观者合影。作为资深的R2D2粉丝，我们在第一时间“绑架”了一台R2D2到DFRobot的展台，和我们来了一个亲密的合影。

21 微软的Robotics Studio开发平台也带来了他们的最新成果——基于Kinect的移动机器人平台。微软的Robotics Studio集成了很多机器人常用的功能，能让开发人员方便地开发机器人的应用。Kinect的诞生给机器人带了无穷的想象。这些机器人可以说是展会内最高端、最智能的，不但能够自动导航，还能实现远程视频、自动追踪。

22 现在的创客作品中，Arduino已经无处不在了。在这次Maker Faire中，来自意大利的Arduino团队带来了他们最新产品——Arduino Leonardo和Arduino Due。Lenonardo是一款基于Atmega32u4的控制器，作为一个入门级的Arduino产品，其设计理念是用一片芯片来实现控制和USB数据烧录，从而进一步降低成本。而Arduino Due则面向高端，采用了32位Cortex-M3 ARM芯片，一些复杂应用就可以用这款产品来实现。

23 创客是最能玩、最有想象力和创造力的人群。扑克做成的帽子真是太酷了，戴着这个帽子，无论在哪里都能获得100%的回头率。

24 DFRobot这次带去的产品不但有最新研发的基于微软Gadgeteer的机器小车，还带来了国内创客团队RoboPeak的作品——激光键盘和机器小车。激光键盘在现场的超人气体现了中国的创客其实也很棒。

25 DFRobot带到Maker Faire的超人气作品——拆炸弹游戏在现场也相当受欢迎。准备的几百个炸弹很快就消耗一空，所有经过展台的小朋友们都想成为英雄。

26 在欣赏和感叹创客们的作品后，如果你也有想法，想自己动手试试的话，展会准备了一个购物区，在这里你能买到很多创客所需要的部件，比如各种规格的Arduino和套件。

为期2天的展会过得实在是太快了，由于展出的作品实在太多，这里无法一一作出介绍。真希望能够再多几天，好好感受一下创客们的智慧和创意。本届Maker Faire最大的感受是创意来自生活，创造无处不在。动起手来吧，中国的创客们！

新车间Arduino图形化编程软件——ArduBlock

◇宜昌城老张

ArduBlock的今世前缘

《Make》杂志主办的Maker Faire是一场场平民科技、趣味作品交流的盛会，每个老百姓都能参与其中。2011年，纽约Maker Faire 展会在科学会馆举办，在几条街区外就可以看到高耸的火箭模型。本来就充满科普装置的空间里塞满了创客后，就像一个爱丽丝仙境，走在其中会不经意地被古灵精怪的作品打动，驻足赞叹创客们的精彩表演。

在这次展会上，Arduino尤其抢眼，Arduino 团队高调出场，发布了一系列Arduino产品，从低端的Leonardo，到未来式96MHz怪物DUE，以及新的Arduino 1.0编程软件、机器人平台等。Arduino的核心开发团队成员Massimo还特别感谢了上海新车间创客开发的图形化编程环境ArduBlock，肯定了来自中国创客的贡献，让现场中国观众有点Hold不住了。

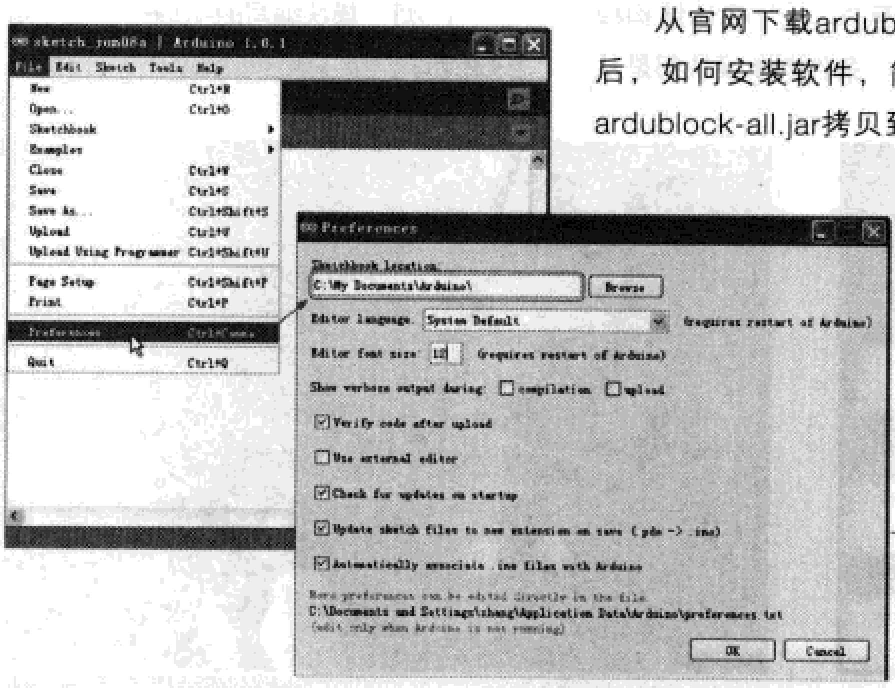


图2 ArduBlock软件的安装路径

位于上海市徐汇区长乐路1035号2楼（乌鲁木齐路口）的新车间是国内第一家创客空间，它为创客们提供了一个很好的交流场所。新车间的ArduBlock软件受到了国际同道的好评，下面我就来详细介绍一下ArduBlock的安装与使用。

ArduBlock是Arduino官方编程环境的第三方软件，目前必须依附于Arduino软件下运行，因此首先应该下载和安装Arduino 1.0版本，方法可见官方网址：http://arduino.cc/en/Guide/Windows。ArduBlock区别于Arduino提供的文本式编程环境，是以图形化积木搭建的方式编程的，这样的方式会使编程的可视化和交互性加强，使编程门槛降低，可以吸引更多的人投入到创新制作中来，让人人都是创客！即使是没有编程经验的人，也可以尝试给Arduino控制器编写程序。

ArduBlock软件的下载与安装

从官网下载ardublock-all.jar文件后，如何安装软件，简单地说就是把ardublock-all.jar拷贝到“Sketchbook location”所在目录底下的“tools\ArduBlockTool\tool\”的子目录文件夹里面。问题是“Sketchbook location”所在目录在哪可以找到，别急，我来找找。在Arduino的编程环境IDE下，打开菜单“File”→“Preferences”，如图2所示，即可找到。

我的电脑显示，图2矩形框标注的“C:\My Documents\Arduino”就是“Sketchbook location”所在的位置，我目前用的是Windows XP操作系统，如果是其他操作系统，或者以非管理员身份的其他账户进操作系统，“Sketchbook

■ ArduBlock官方网站：http://blog.ardublock.com

图1 2011年纽约Maker Faire宣传页

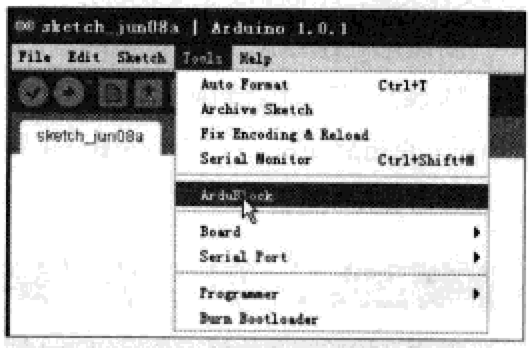


图3 ArduBlock在Arduino编程环境下的启动菜单项

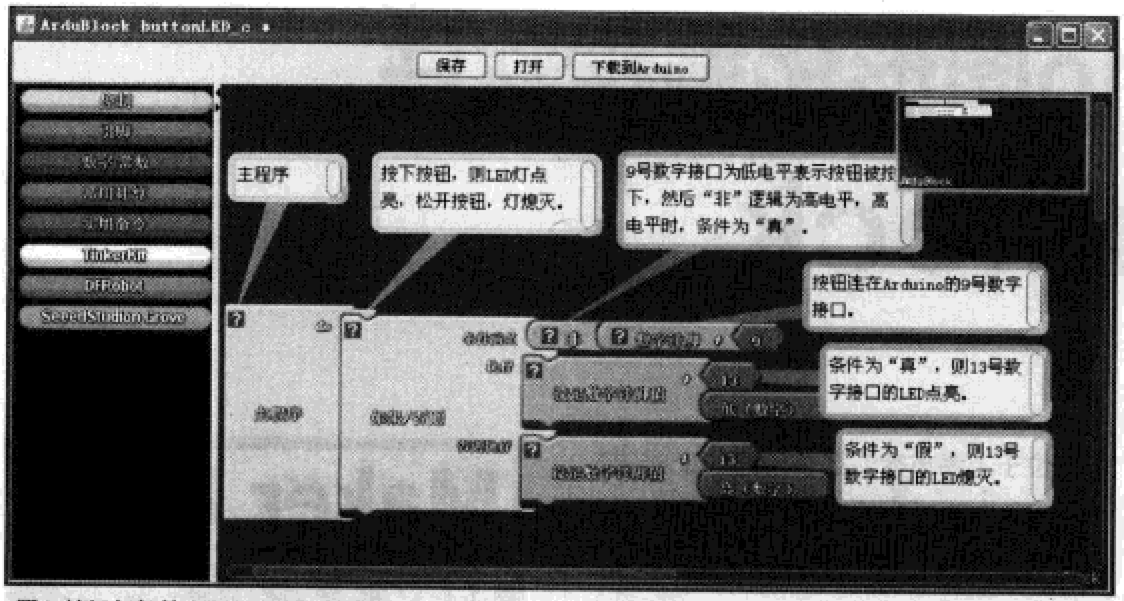


图4 按钮与灯的ArduBlock通用程序

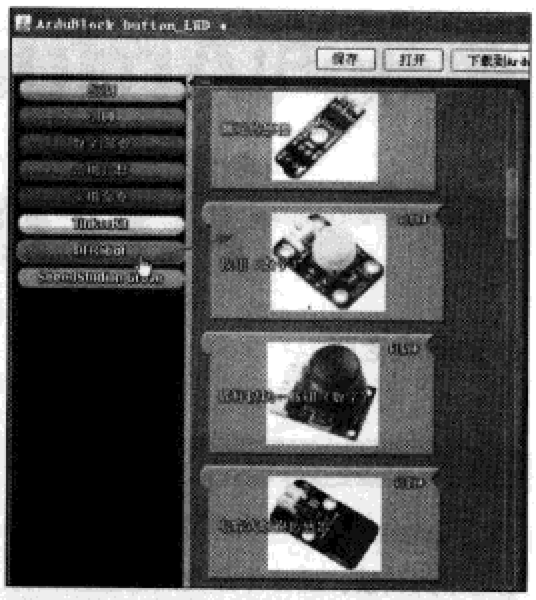


图5 DFRobot产品库文件

location”的默认目录是不一样的。

好了，现在赶快去看看这个目录下有什么。其实你打开这个目录文件夹，什么东西也没有，现在要做的事是一级一级地在这个目录下建子目录，像这样：“C:\My Documents\Arduino\tools\ArduBlockTool\tool\”，然后把ardublock-all.jar文件拷贝到tool文件夹里，ArduBlock就安装成功了。

安装完ArduBlock，可以在Arduino IDE的“Tools”菜单下找到ArduBlock，如图3所示。点击启动它，ArduBlock图形化界面就会出现在眼前。

按钮与灯的互动实例

下面开始编写我的第一个ArduBlock程序，任务很简单：按下按钮，Arduino控制器检测到与按钮连接的9号数字接口为低电平，于是它向13号数字接口发出命令，点亮LED灯，松开按钮，则熄灭LED灯。

观察如图4所示的ArduBlock程序，真如搭积木那么简单，还可以对程序进行中文批注，批注窗口可以拖动和缩放，不要让它挡住了程序。程序中的各个模块都是从左侧的模块库里拖进编程界面的，然后用这些模块积木进行拼接，拼接对了，会发出一声“咔”的清脆响声。如果你要删去模块，也很有创意，把不需要的模块往左边模块库方向拖出编程界面即可。还有一个好用的功能，如果程序比较长，除了可以通过拖动滚动条来找到需要查看的程序段，还可以通过编程界面右上角的鹰眼窗口来快速定位。

程序中“主程序 do”循环结构模块和“如果/否则”条件判断模块都是从“控制”模块库中提取的，“非”取反模块来自于“常用计算”模块库，而“数字针脚”模块和“设定数字针脚值”模块都是从“引脚”模块库拖进来的。

实际上，这个按钮与LED灯的实验任务还可以有更加直观通俗的编程样式，注意到图4没有？8个模块库中最后3个外设模块库，是国内3家Arduino制造商的产品模块库，区别于“引脚”通用外设模块库，Arduino制造商产品模块库里的模块不仅以文字来标识模块，而且还以更直观的产品图样来标识。

我现在用 DFRobot 模块库来编写程序，看看这个库都有些啥模块（见图 5）。

用DFRobot模块库中提取的“按钮”与“LED灯”模块编写的ArduBlock程序如图6所示。

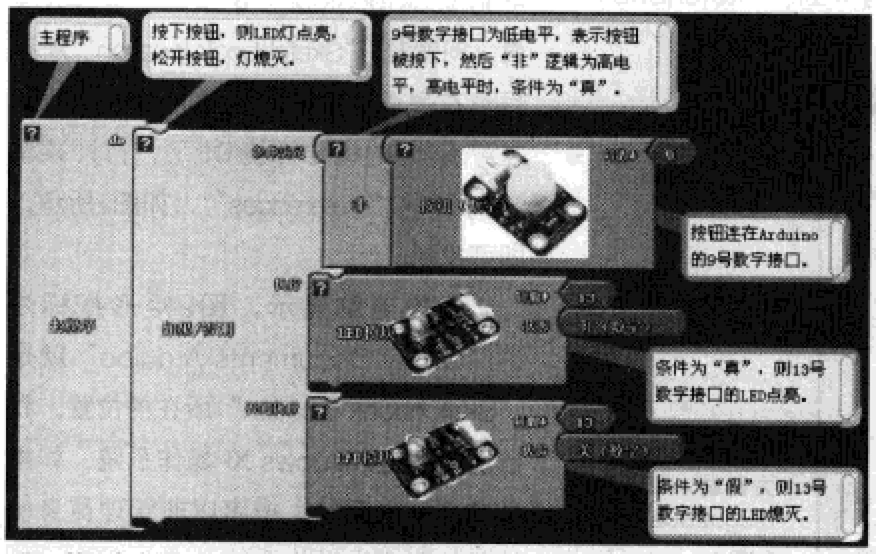


图6 按钮与灯的ArduBlock产品图样程序

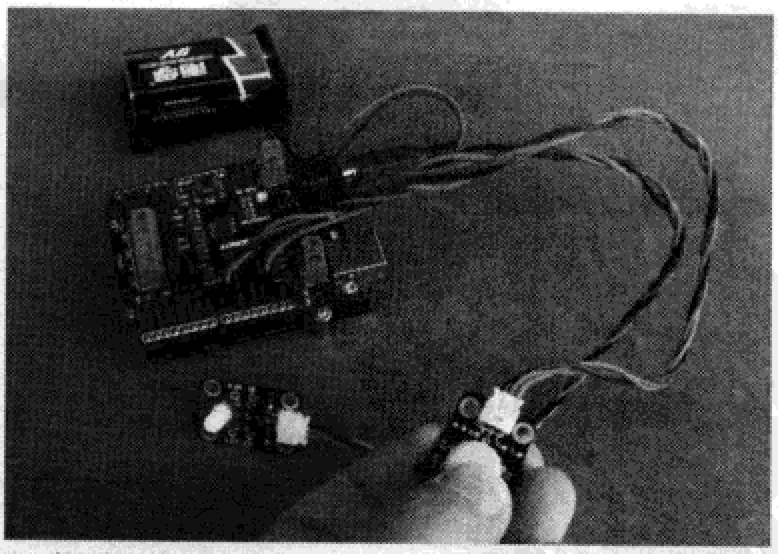


图7 按钮与灯的实验全景图

我手头正好有DFRobot公司的Arduino控制器、XBee传感器接口板、按钮和LED硬件模块，也如搭积木般地快速组建出硬件实验系统，如图7所示。大家可以对比一下实验用到的软件和硬件，ArduBlock还是很直观、形象的，让人感觉蛮新鲜的！

ArduBlock与Arduino联机运行

ArduBlock是依附于Arduino官方软件的第三方图形化编程软件，两者需同时运行，用USB线把Arduino UNO控制器连接在电脑上，然后在Arduino 1.0编程软件Tools菜单里的Board和Serial Port选项正确设置控制器型号和通信串口号，再点击ArduBlock软件界面上方的“下载到Arduino”按钮，你会发现Arduino编程环境的“上传”图标也开始工作了，而且在Arduino编程环境里还居然生成了C代码（见图8），哈哈，现在可以通过图形程序与文本程序的对照，来深入学习ArduBlock编程了。

电位计与舵机互动实例

刚才介绍的是如何用ArduBlock编程来实现数字量输入与输出之间的交互，下面谈谈如何实现模拟量输入来控制舵机角度，任务是用手指旋转电位计手柄，180°舵机上的乐高人偶也随之旋转，如图9所示。采用“DFRobot”产品模块库编程，程序如图10所示。

主程序do语句反复由上而下地执行包含在其内的3个程序模块，第一个模块“给模拟量赋值”的作用是把模拟量接口0的电位计数值采样到Arduino的MCU中，采样值范围为0~1023，并赋值给变量“pot value”，第二个模块“给模拟量赋值”的作用是把变量“pot value”的数值范围从0~1023正比缩放为0~179，并把缩放后的数值赋值给变量“servo position”，第三个模块“DRFobot舵机”的作用是把变量“servo position”的值输出给连接在数字接口9上的舵机。这样电位计的采样值就正比转换成了舵机角度值，舵机随电位计转动而转动。

若采用通用外设“引脚”模块库编程完成上述任务，其程序如图11所示。

ArduBlock使用心得

大概半年前，我向在青少年宫任职的朋友推荐了Arduino这种电子积木，他说早有耳闻，只不过Arduino编程用的是C语言，而且命令和注释都是英文，所以不方便教小孩子。我说：“你OUT了，国内新车间出品了一种拼图式全中文软件ArduBlock，能适合孩子们的。”听我一说，这位仁兄顿时高兴起来，立即下载软件，学习起来。

前不久，他打来电话说，已经把ArduBlock软件用在机器人兴趣班上了，上午还用软件中的超声波、舵机模块和程

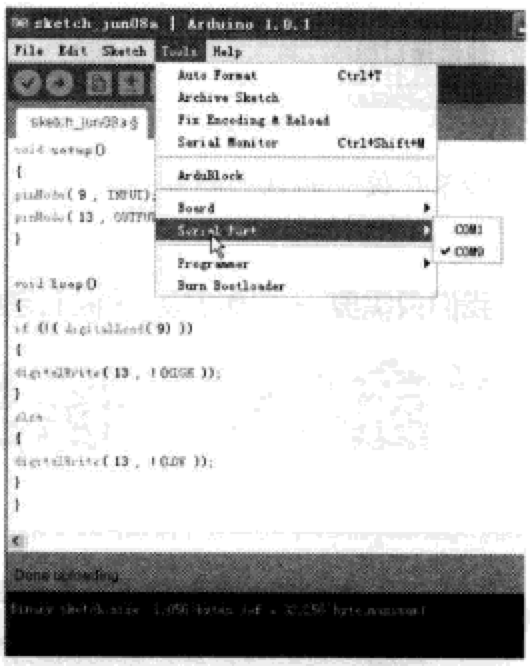


图8 Arduino对ArduBlock软件的支撑界面

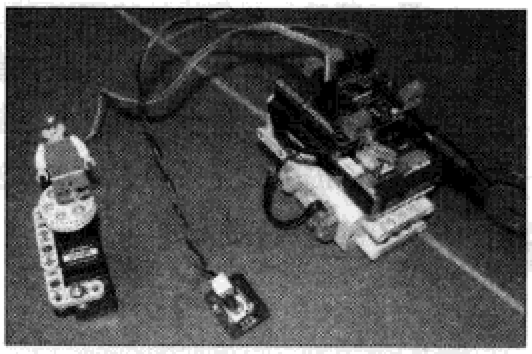


图9 电位计与舵机实验全景图

序控制模块为避障智能车编写了程序，下载到控制器，然后看到智能车能够在各种障碍物之间来回巡游，孩子们轻松地理解了智能车的“大脑”到底是怎样思考的。其实ArduBlock软件不仅可以用于青少年培训，也可以成为成年初学者进入Arduino世界的敲门砖。

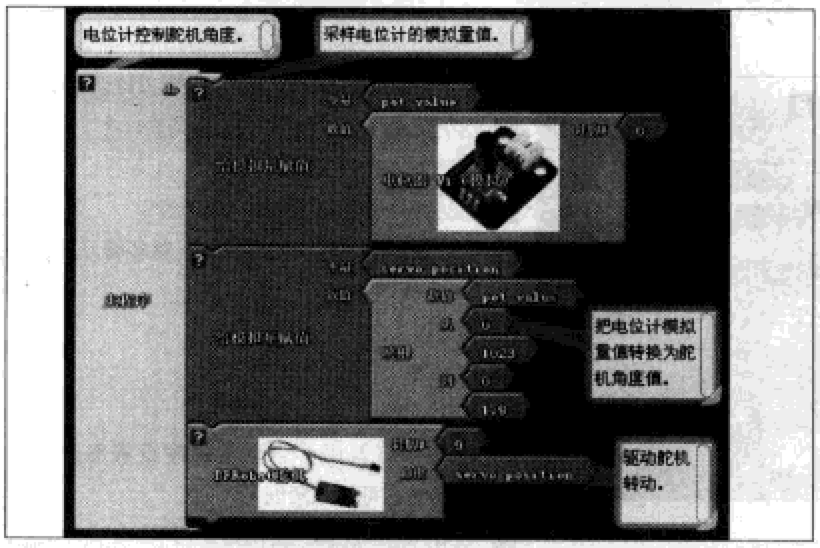


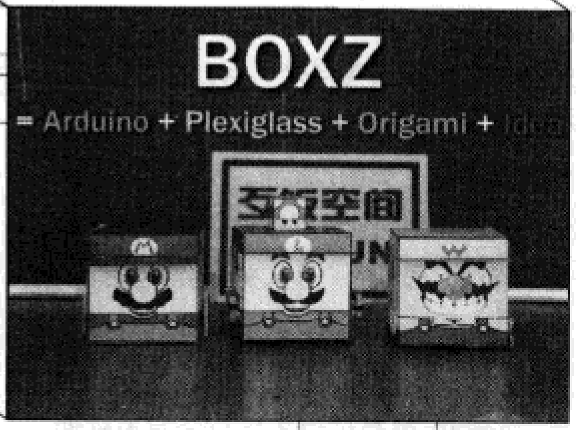
图10 电位计与舵机的ArduBlock产品图样程序

图11 电位计与舵机的ArduBlock的通用程序

◇朱广俊　郭强　赵慰

我们只需要一张硬纸板、6根面包线，还有创意！

“盒仔”家里造



各位喜欢做机器人、智能车的爱好者们，大家制作的机器人和智能车都是什么样子的呢？ 我见过很多种，有的有创意，有的高科技，有的简约而不简陋，有的高大魁梧，有的小巧精致。可是，大家有没有想过，我们为什么要做机器人？为什么要做智能车？ 在这里，我可以给你一个答案：“为了互动！”交流是人类的天性，智能车和机器人也是一样的。我们设计的BOXZ互动机器人就是这样一个平台，让大家可以很轻松地制作一个属于自己的互动机器人！即使你是一个小学生，都不会有任何困扰，因为我们设计的BOXZ机器人的组装实在是太简单了，它只有6根连接小电机和电池盒的连线。如果你已经有了Arduino控制板，只需要买一张2mm厚的硬纸板和一些小零件就可以开始啦，总成本会低于50元，而你需要的工具只是一把裁纸刀和小尺，然后在某个周末，占用一天时间即可完成一款独一无二的BOXZ互动机器人！

BOXZ，昵称盒仔，是一款开源的互动娱乐平台。我们将Arduino、压克力板和纸模型创意结合在一起，让大家可以快速搭建自己的遥控玩偶，开展互动体验。盒仔的组装就像搭乐高积木或者宜家家居一样简单，而它的外形和功能完全取决于你的创意。我们可以用它来搞足球比赛、角色扮演、赛车或对战，甚至拍MV！

我们希望通过盒仔，让大家把更多的精力放在创意和互动上，让每个喜欢DIY的人都能拥有自己的小机器人，最最重要的是，可以拿出来与大家进行互动，分享快乐，而不是静静躺在实验室里。

本教程向大家介绍的是BOXZ Base，这个版本的特点是上手简单，制作容易，而且对材料没有什么要求，可以是硬纸板、PVC塑料等任何2mm厚度的材质。我们推荐使用2mm厚的硬纸板，因为其价格便宜且加工容易，美术用品商店就有，大概10元一张。

同时，我们还有BOXZ Pro，这会是一个更强大的版本，它在互动和PK这两个方面都融入了很多创新元素，增加了更多的扩展板、孔位和槽位，以便支持各种传感器和执行器，从而实现丰富多彩的互动效果。

本文主要给大家介绍BOXZ Base的制作过程，关于Arduino的主程序和操控方法只做简单的介绍。

材料和工具

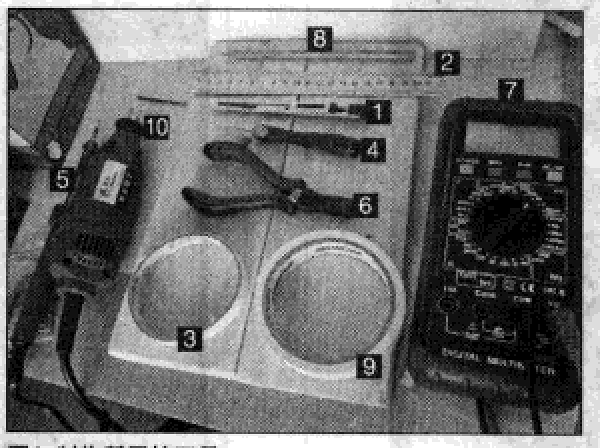


图1 制作所需的工具

1. 美工刀（最好用小款窄刀片，宽刀片切槽费劲）
2. 钢板尺
3. 双面胶（5mm宽度最佳）
4. 螺丝刀（小号一字和十字各一个）
5. 电烙铁和焊锡丝（如果没有，就多缠几圈线然后绑胶带吧）
6. 斜口钳
7. 万用表
8. 铅笔（可选）
9. 纸胶带（备用，当购买的硬纸板厚度不足2mm时，可用此紧固）
10. 电钻（如果没有，就用美工刀吧）

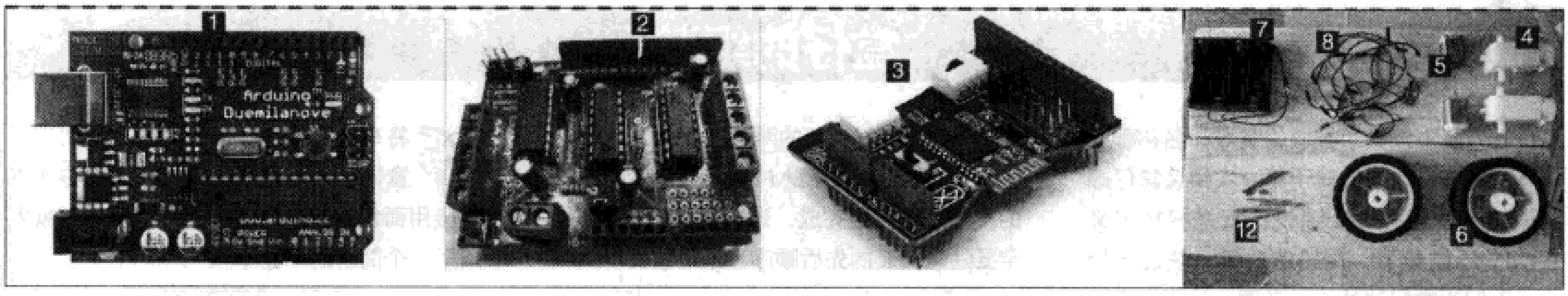


图2 制作所需的部分材料

材料：

1. Arduino控制板 1块
2. Arduino电机驱动板（要求可堆叠，极力推荐ladyada.net设计的Arduino兼容全功能电机驱动板） 1块
3. Arduino蓝牙控制板（要求可堆叠，当然也可以采用传感器扩展板加蓝牙板，或者Zigbee板，本文只介绍蓝牙） 1块
4. TT减速齿轮箱 2个
5. 130电机 5V x 2
6. 65mm塑料车轮 2个
7. 4节5号电池盒 1个
8. 面包线 4根
9. Arduino USB线缆（用于下载程序） 1根
10. 5号电池（如为1.2V充电电池，需要5节） 4节
11. 2mm厚白色硬纸板（厚度尽量是2mm，虽然1.6mm也勉强可以，但是硬度不够，需要用纸胶带加固）
12. M1.0×30mm 螺丝+螺母 6对
13. M3六角铜柱(长度可以是5~20mm，推荐用10mm长的)+M3螺母 3对

需要打印的部分：

》BOXZ Base图纸（PDF格式，打印时注意使用原始尺寸，不要比例缩放） 1份

》BOXZ皮肤（外观） 任选1款

设计图纸发布地址：
https://github.com/leolite/BOXZ

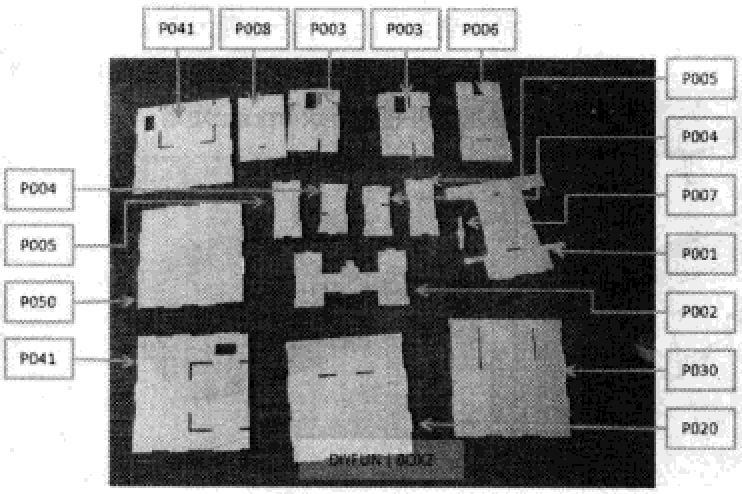
尺寸信息：

盒仔方盒整体尺寸：128mm×128mm×128mm

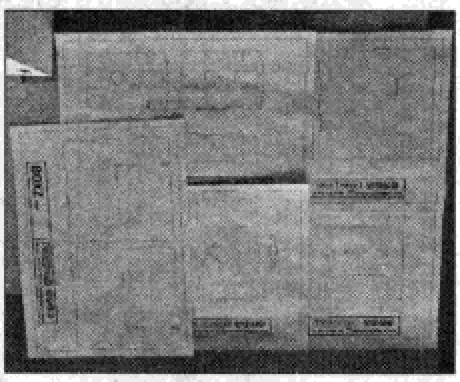
盒仔皮肤的基本尺寸：130mm×130mm×130mm

BOXZ板块的制作

01 在开始制作之前，先来了解一下盒仔的机械结构吧。盒仔是由大小不等的板块构成，板块和板块之间采用插入式连接，因此不需要任何螺丝等紧固件。但是盒仔和其他部件，例如电机之间的连接，就只能通过螺丝、螺母了。这里面最大的板子，外围尺寸为128mm×128mm，也是盒仔的外壳尺寸。这样的板子一共有5块，包围了整个盒仔，我们称之为“大板”。其中还有些尺寸各异的支撑板，用来支撑盒仔内部的Arduino模块和电机。值得一提的是，我们一直致力于让大家可以用最简单的方式快速构建盒仔，就像搭积木一样简单，因此在最新的Base图纸中，已经优化掉了P006。



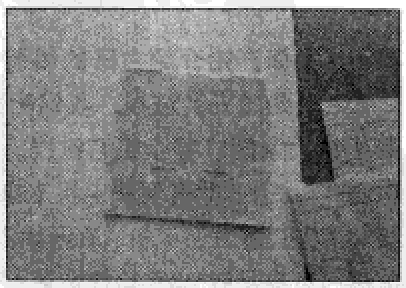
02 首先将下载好的BOXZ Base图纸和皮肤打印到A4纸上。



03 先把皮肤放到一边，我们需要把图纸裁剪到合适的大小，距离边线10mm左右即可。

04 然后把图纸进行简单的排版，用双面胶带把裁减好的图纸粘贴到硬纸板上，注意双面胶带要粘贴在板块的线框以内，每个大板4个，其他2个即可，主要是起固定作用。图纸在裁切完后是要撕掉的，因此粘贴时间不能过长，太久了的话，双面胶会固化，图纸撕下来时可能会影响硬纸板的效果。

05 先用美工刀将各个板块裁成一块一块的，然后对需要开孔的板块用电钻进行开孔，如果没有电钻，就还用美工刀吧，但是注意孔不能开大了，否则螺丝就固定不住了。开完孔后，就可以对边角进行修正、开槽。等一个板块的所有边线都裁切完成，就可以揭去图纸了。至此，一块纯手工打造的盒仔板块就算完成啦！



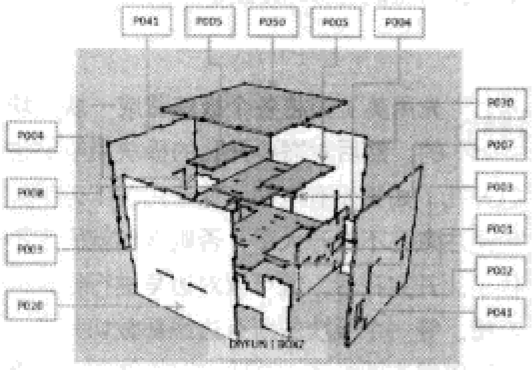
06 裁切所有板块，整个过程大概会占用你4~5小时。

盒仔的组装

01 列表中每一个板块的编号和名称都有定义，如果你对于第一次组装盒仔感到困扰，我们有一个建议，就是根据定义过的P0xx的编号，用铅笔对每一块进行标注。下图为盒仔的结构示意图，从图中可以大致了解各个板块之间的连接关系。我们的板块采用了对称设计，因此你几乎可以忽略安装时上下左右的方向问题，它们之间不分正反，可以相互替换。即使第一眼你觉得很复杂也没关系，只要按照教程一步一步操作即可。

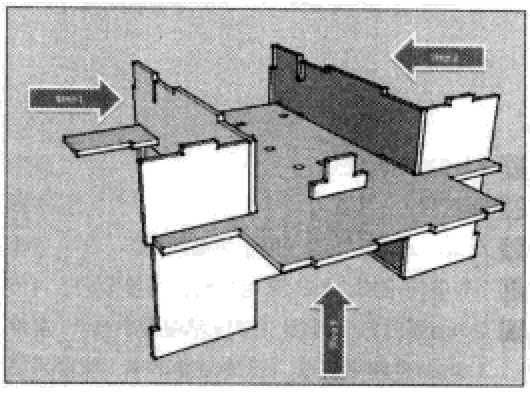
BOXZ Base模块一览

编号	名称	数量
P001	主支撑横板	1
P002	前支撑竖板	1
P003	电机支撑侧板	2
P004	轮侧竖挡板	2
P005	轮上横档板	2
P006	电机下托板	1
P007	主控辅助板	1
P008	主控平台板	1
P020	外围前板	1
P030	外围后板	1
P040（P041）	外围侧板	2
P050	外围顶板	1
小记		16

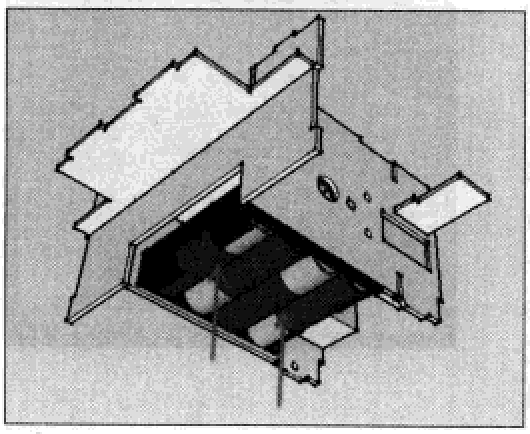


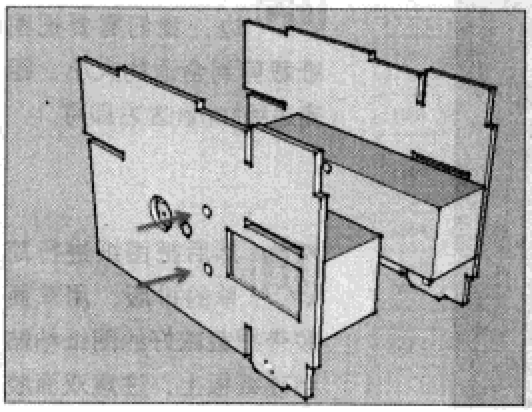
02 下面开始介绍盒仔的组装。为了让大家更熟悉安装过程，我们配合SketchUp效果图给大家解释整个组装过程。首先用到的是P003，我们一共有两块电机支撑侧板，用于连接和固定TT减速箱电机。在开始安装电机之前，大家可以先把P003实验性地插入P001，从而定义好一个方向，然后就可以用紧固件（每个电机用两个M1.0×30mm的螺丝）分别把两个电机固定在P003的内侧。

03 将安装好电机的两块P003插入P001，然后把P002插入P001，此时整个盒仔的支撑结构已经完成。这里要强调一点，一定要注意安装的先后顺序，这很重要！

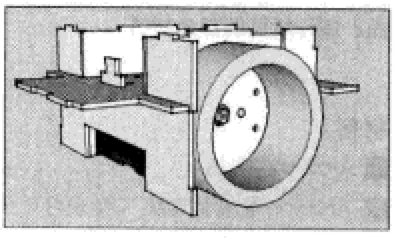


04 把电池盒用紧固件固定在P001上，这样电机便牢牢固定在了支撑板上。你可能会发现，此时的支撑结构还不是很稳定，在外力作用下依然有晃动。不要担心，我们还有很多板块没有安装，等你把盒仔板块全部组装完成之后，你就会发现它是多么坚固、稳定了。对于电池盒，我们要额外说明的是，推荐大家使用4节5号普通电池，其电压为1.5V，如果你使用的是1.2V的充电电池，那么就需要更换成5节5号电池盒。

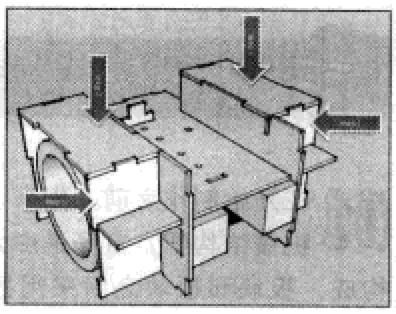




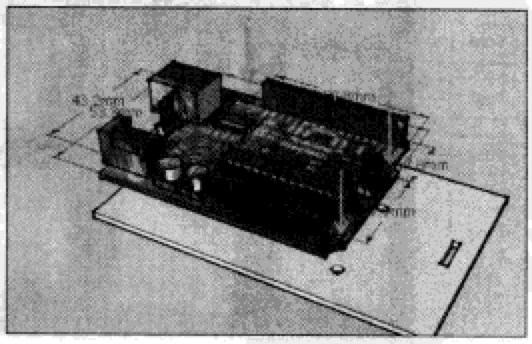
05 将车轮安装在P003的两侧，此时一个盒仔的最小系统已经出来了。你可以直接用面包线将电机连接到电池盒上，就做成了一个简易的小赛车。



06 将两块P004分别插入P001的两侧，然后装入两块P005，它们负责连接P002、P003和P004。此时你的小车应该已经非常牢固了。如果你所购买的硬纸板厚度不足2mm或者比较软，我们建议你用纸胶带对P002、P004和P005进行整体加固，这会让你在安装外围板块时更为轻松。

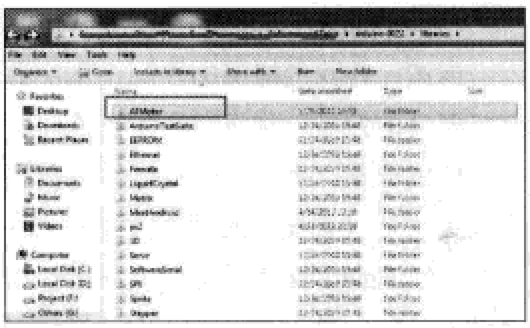


07 现在盒仔的底板已经全部完成。这里我们要用到编号为P008的主控平台板，可以看到它一共有3个孔位，对应着Arduino主控上的3个固定孔。通过3个紧固件将Arduino控制板固定在P008上，这里需要注意一下方向，两个孔的一侧冲向盒仔的正前方。P008还有一个人性化的功能，即使你要用Arduino做其他有趣的事情，只要将P008向上一推即可取出，然后作为平台板放置到桌子上，不但方便大家调试，更重要的是安全，因为桌子上的细小的铜丝或其他金属物可能会导致Arduino短路。

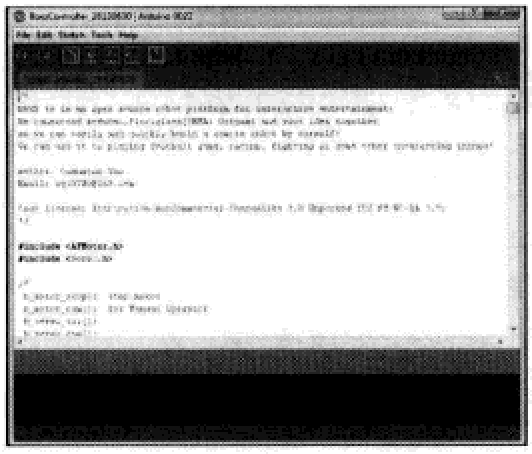


08 下面我们可以通过USB线缆对Arduino的程序进行下载了。此时一定要确认蓝牙控制板没有插在Arduino控制板上，因为下载会和蓝牙占用相同的端口，导致下载失败。

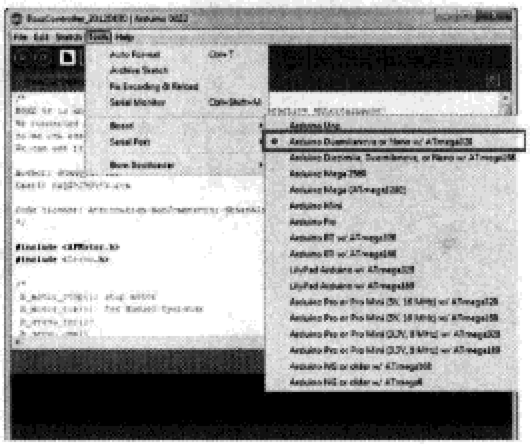
09 在打开Arduino IDE之前，我们要做一件重要的事情，就是把ladyada.net的AFMotor库文件解压缩，复制到Arduino的扩展库文件夹下。这里我们使用的是Arduino 0022版本，使用Arduino 1.0的用户也请放心，AFMotor库不需要进行任何配置，系统会自动识别软件版本。



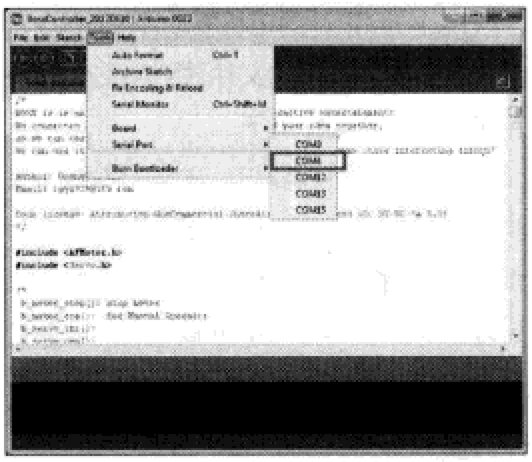
10 双击BOXZ程序，Arduino界面便会自动打开。



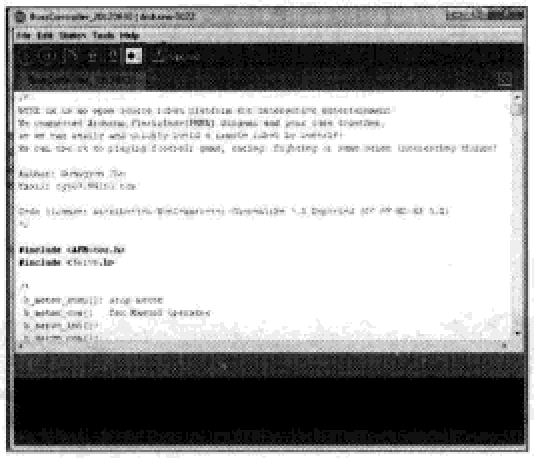
11 选择控制板型号，这里选择的是Arduino Duemilanove，请根据实际使用的型号来选择。



12 下面要选择通信端口，这里选择的是COM4，如果大家不确定自己的端口号的话，Windows用户可以在设备管理器查找Arduino的端口号。

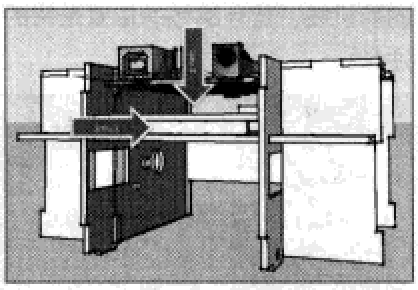


13 最后点击下载按钮，稍等片刻，程序就下载完成了。

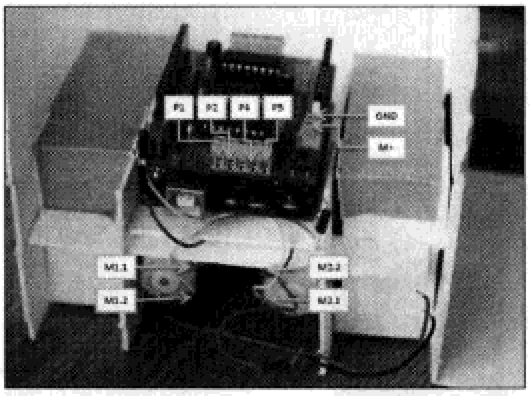


14 好的，大家可以休息片刻，其实我们的控制程序也很简单，相信绝大部分人都能够看明白代码。本来制作一个互动机器人是一件非常复杂、非常有技术难度的事情，就拿BOXZ来说吧，它应用到了串口数据通信、AVR单片机控制、信号锁存器、H桥电机驱动等一系列技术，当然我们还需要设计各种连接结构和各种各样的接口，但正是因为有一些高手在开源项目平台上的积极努力，将很多复杂的问题封装好，让我们可以简单到只需要6根线的连接就能实现一个互动机器人，这在以前是件多么不可思议的事情啊！这也正是Arduino电子积木的魅力所在，它可以让我们快速实现创意，而不需要过多地理解各种复杂的技术。同时，我们也希望通过Arduino和BOXZ的结合，让大家能够快速拥有自己独一无二的互动机器人。

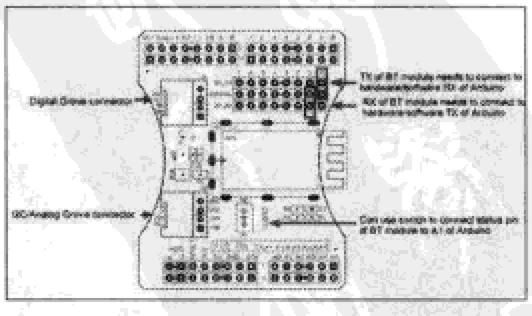
15 下面继续盒仔的组装过程，将装好Arduino的P008插入盒仔底盘，插入P002，这里需要使用P007作为支撑垫板先插入P001中。



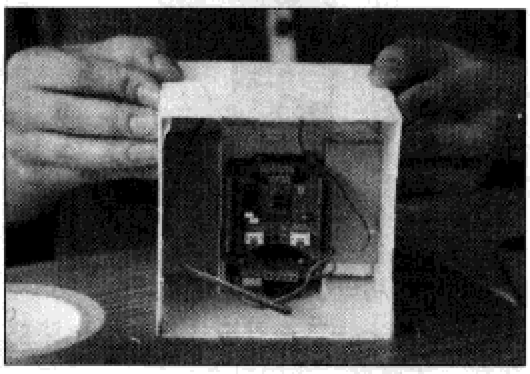
16 然后将电机驱动板叠加到Arduino控制板上，下面就要连接各个电路部分了，不要慌，我们只有6根线哦！第一步，先将电池盒的红线连接到电机驱动板的M+，然后将黑线连接至GND，电源部分就完成了。第二步，将电机连接到电机驱动板上，连接方法为：P1接M1.1，P2接M1.2，P4接M2.1，P5接M2.2，P3是悬空的。第三步，确认电机驱动板的跳线为短接状态（在电源端子旁边，默认为短接状态，如果取下跳线帽，则电机驱动板和Arduino将需要独立供电）。



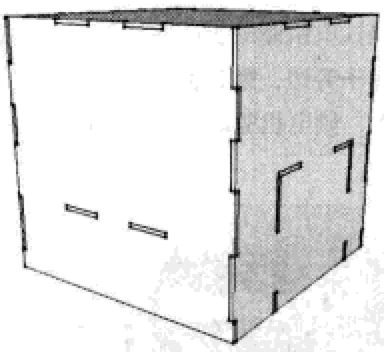
17 最后将蓝牙控制板也叠加在电机板上，电路部分就基本搭建完成了。这里需要注意，教程中使用的蓝牙板有切换软硬串口的跳线功能，而板子的默认位置需要大家确认一下，只要按照图中2个红色方块所示调整好跳线即可。

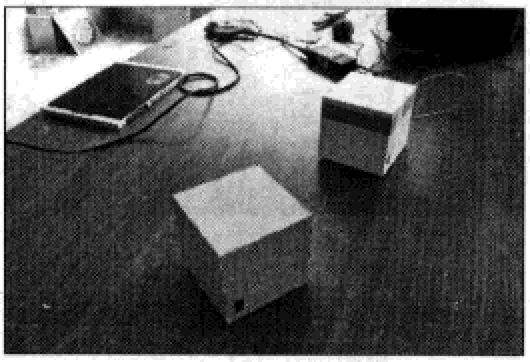


18 最后将P020、P030和两块P040，共4块外围板依次安装（这只是一张安装效果示意图，图中两根我们做Pro版本测试的舵机线、蓝牙跳线的位置是错的，请大家注意）。



19 最让人激动的时刻马上就要到了，盖上P050顶板，插入电池，一个Base版的盒仔就诞生了！





20 测试通过的话，我们就可以开始制作皮肤了，关于皮肤的制作，本教程不多介绍，赶快给盒仔套上皮肤，和你的家人朋友一起用盒仔PK吧！

Arduino程序和调试

关于程序要强调的一点是，我们使用了ladyada.net设计的电机驱动库AFMotor，大家需要把解压后的文件放到Arduino安装目录libraries的文件夹下。

从中我们可以看出，盒仔的主程序很少，调用了不同的功能子程序来实现其功能。盒仔通过Arduino的串口将数据发送给蓝牙控制板，由笔记本电脑或者手机接收蓝牙串口数据，大家可以使用任何串口终端来控制它。目前我们用装有Windows 7系统的笔记本、MacBook和iPhone三种终端测试通过了蓝牙和Zigbee两种通信模块，将来也会推出Wi-Fi通信和客户端。目前大家可以用串口助手实现操作，就像我们发布的视频中一样，操作也很方便。

盒仔Base的程序是通过接收键盘按键来进行动作判断的，只支持单个的字符，而在盒仔 Pro中，我们将采用更强大的字符串通信方式，让大家拥有更棒的互动体验。盒仔的操作方式就像打电脑游戏一样，按键定义如下："w"为前进，"a"为左转，"s"为后退，"d"为右转，空格为急刹车。如果你按下键盘的Shift键，将会激活点动模式，配合相应的方向键，例如"w"为向前一小步，"a"为向左转90°。

当然，在我们提供的代码里还包括舵机部分的控制，你可以用舵机控制左右手臂的摆动、点动等多种动作，具体定义大家可以看程序的注释，本教程以介绍盒仔 Base的安装为主，就不过多描述了。

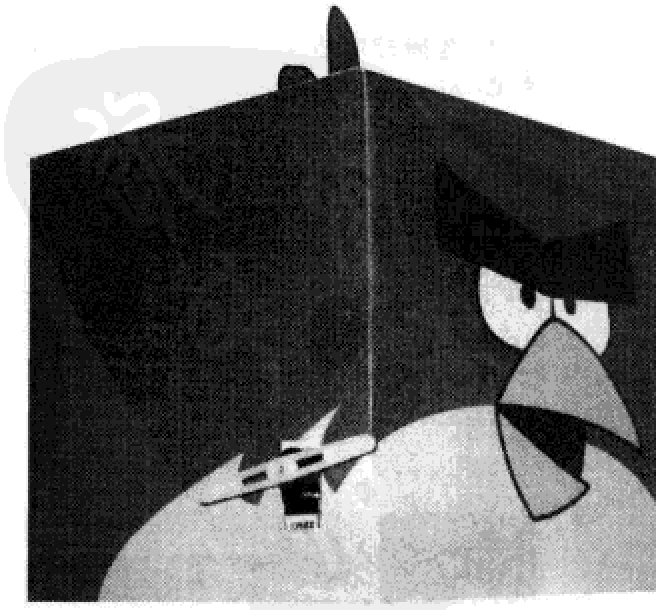
更多盒仔的故事

盒仔2号原型机的作者是我们团队的视频后期高手，他的儿子很喜欢愤怒的小鸟，于是他爹就给他做了个红色小鸟的盒仔皮肤，套在盒仔上面和儿子一起玩互动。想象一下，你和家人在一起，控制一只愤怒的小鸟冲向一堆贴有钢盔猪的饮料瓶或者积木时的开心景象吧！

细心的读者可能会发现文章里的照片实际使用的是P041板块，而不是BOXZ Base标配的P040。P041在P040基础上增加了舵机扩展槽，可以让大家安装9g舵机，将会出现在BOXZ Pro版本中。由于目前我们还需要验证其开槽位置是否恰当，所以暂时没有发布。

盒仔的版权基于Creative Commons（知识共享）协议，你只需在作品中注明"BOXZ"或"盒仔"字样，即可基于非商业目的使用和修改盒仔及其设计。目前，盒仔已经在点名时间发布了，上面有更多关于盒仔的故事，如果大家喜欢，可以来http://www.demohour.com/projects/303780支持一票！

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载

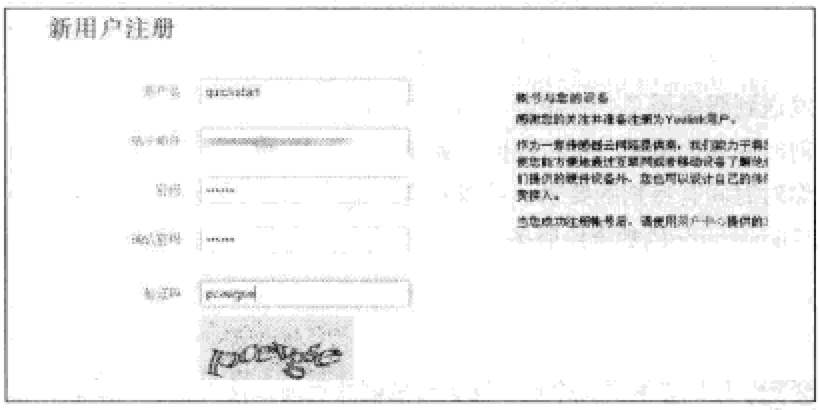


◇姜兆宁

Yeelink——开源硬件Arduino与物联网开放服务平台

Yeelink是一个开放的公共物联网接入平台，设计它的目的是为了服务所有的开源硬件开发者和电子爱好者，使得传感器数据的接入、存储和展现变得轻松简单。下面我们将快速介绍一下，如何来使用Yeelink平台，完成你的轻松接入。用它来实现自动化气象站、远程家电控制等物联网应用，将会非常简单。

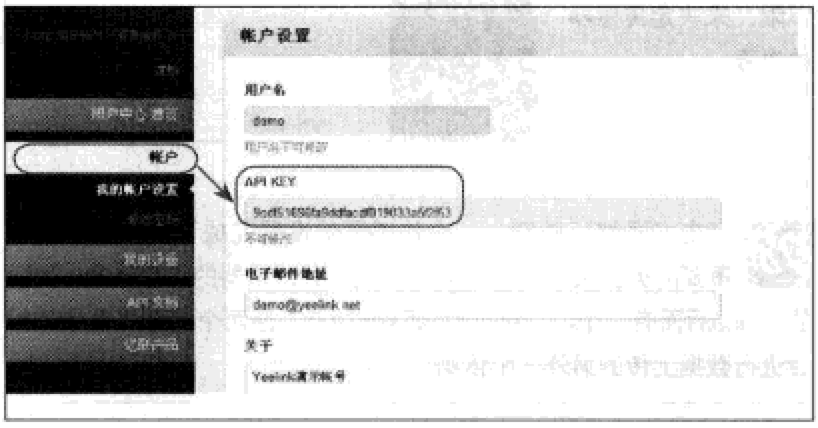
01 在www.yeelink.net注册账号，注意填写电子邮件部分，因为，注册后会自动收到一封激活邮件，账号和API只有在激活以后才能正常使用。这里需要注意的是，部分朋友在申请注册后，发现无法收到邮件，有可能是因为激活邮件被误发到垃圾邮件区了，可以去那里看看。



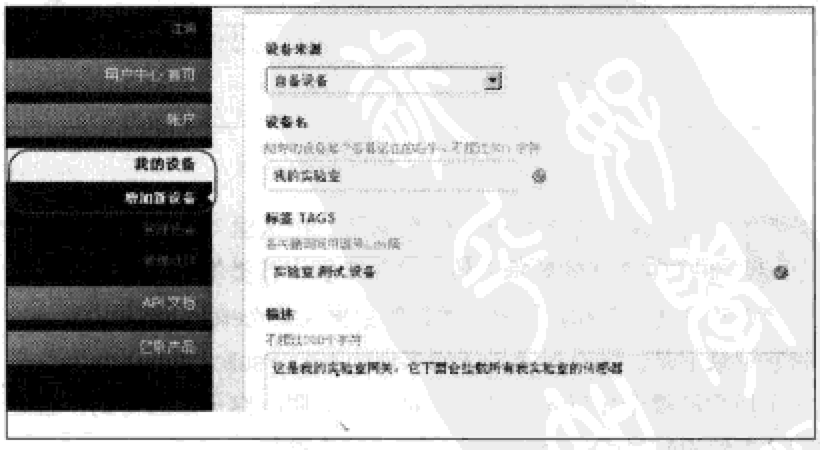
02 通过点击邮箱内的链接，激活账号，这时就可以正常使用API了。

03 点击首页的“登录”按钮，就能看到自己的账号信息，登录完成后，你的一切传感器信息，都将出现在“用户中心”里。

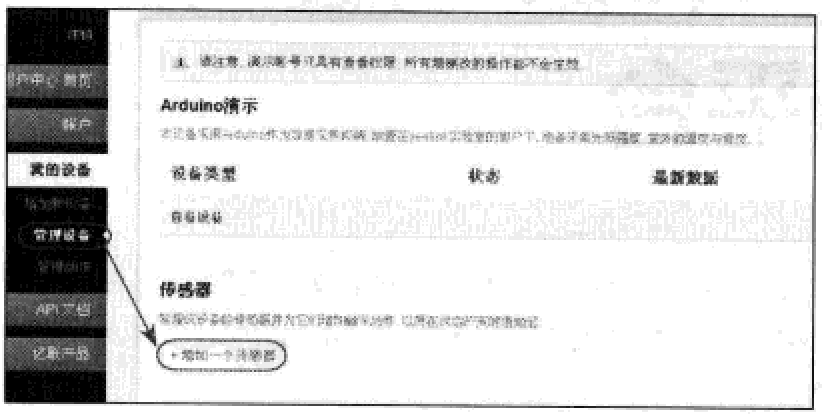
04 点击“账户”→“我的账户设置” →“API-KEY”，获取你的API-KEY，这将是你的传感器在上传数据时最重要的凭证。以后，你名下所有的传感器在做上传时都需要用该API-KEY作为标示。



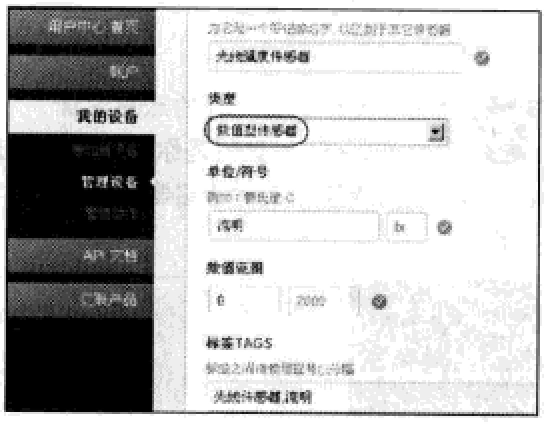
05 好了，知道这些就足够了，现在就让我们了解一下Yeelink是如何组织和管理你的各类设备的吧。Yeelink的用户可以拥有多个设备，每个设备下面又可以挂载多个传感器。首先，我们添加第一个设备和传感器，点击“我的设备”→“添加新设备”。



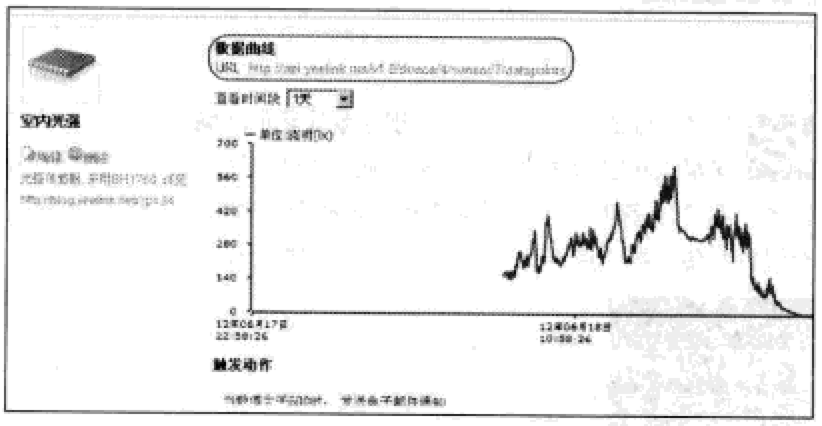
06 在这里，我们就能开始正式添加具备数据上传功能和远程控制能力的传感器了。用户可以创建多种类型的传感器，这些传感器将各自具备不同功能，而且Yeelink在不断开发新的传感器，方便你实现更多的功能。下面我们从最容易理解的数值型传感器开始，点击“管理设备”→“增加一个传感器”。



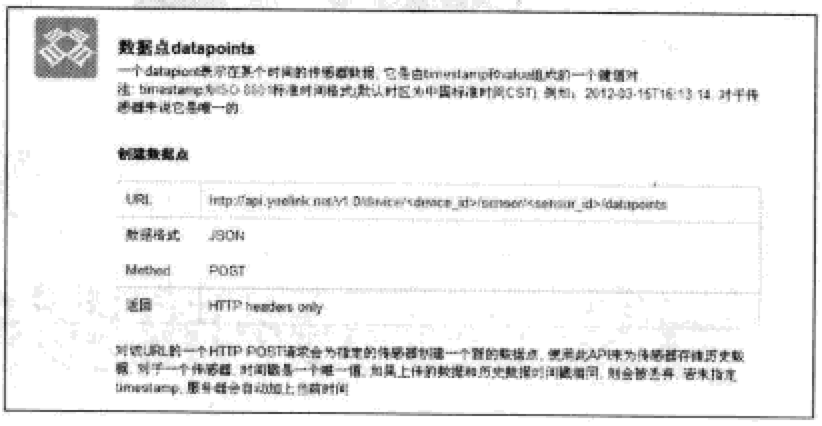
07 这时，需要设定我们增加的传感器类型是“数值型”，这种传感器是专门用来上传数据的，我们可以设定上下限，来决定传感器的量程。



08 点击“添加”按钮，一个传感器就设置完成了，那它有哪些重要的类型值得我们注意呢？注意看传感器的URL部分，里面的device后面有一个4，sensor后面有一个7，这两个信息将是我们以后进行数据上传的另外一个依据。



09 好的，现在总算可以上传数据了，在这里，我们介绍最简单的HTTP方式的数据上传，这种数据上传类似于让你的单片机或者设备发送一个和网页浏览类似的数据包给Yeelink，然后由Yeelink将它记录下来。那么具体是如何实现的呢？ Yeelink如何区分到底是哪个用户的哪个传感器上传了数据呢？聪明的你一定想得到，就是刚才提到的API-KEY、device和sensor这3个参数。



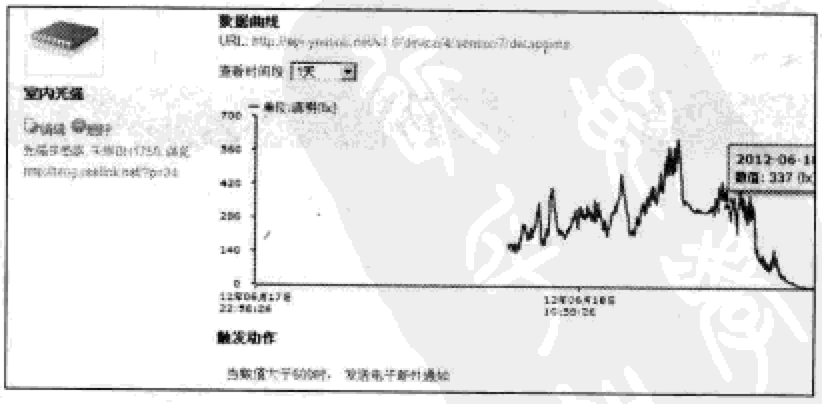
10 如果你使用Linux平台，建议你用curl进行测试。在命令行中敲入：curl –request POST --data '{"value":349}' --header "U-ApiKey: 您申请的API_KEY" --verbose http://api.yeelink.net/v1.0/device/8/sensor/12/datapoints。

11 如果是Windows或者Mac用户，建议你使用www.hurl.it进行测试。方法如下：根据API手册（http://www.yeelink.net/develop/api），需要发送POST到这个URL地址：http://api.yeelink.net/v1.0/device/8/sensor/12/datapoints。按照协议来说，需要发送（在POST BODY里面需要增加）如下数据：

```
{
 "value":34.12
}
```

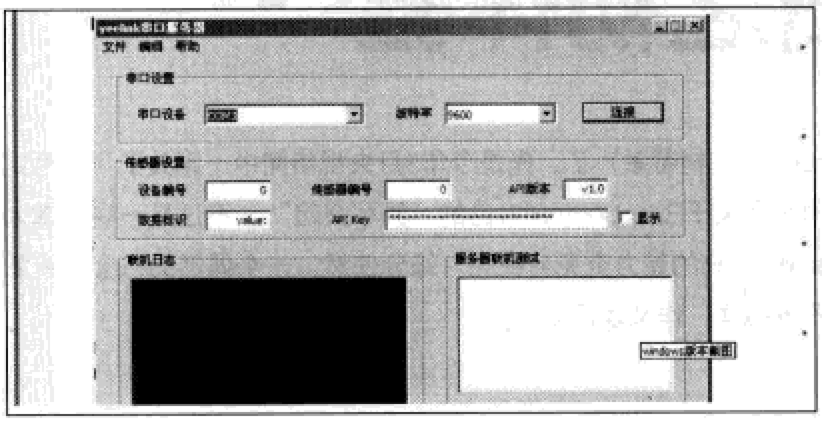
这样，就能把该传感器的数据发送到服务器了，系统会自动拿当前时间作为标记，进行存储。如果你对时间有特别的要求，可以发送带timestamp的数据给服务器。

12 如果多发送几个点，回到传感器的页面，按F5键进行刷新，就能看到绘图空间已经帮你将数据点从数据库取出，并绘制成一个Flash图片了。如果你有Arduino，那么加上计算机，通过我们提供的串口转发到Yeelink工具，就能采集出下面的图片啦。这个工具是由热心网友ArdyPro封装了串口和Yeelink API完成的，可以支持Windows和Mac两个平台，希望你也能用Yeelink API做出更强大的工具哦。



■ Arduino串口转发到Yeelink工具下载地址：http://blog.yeelink.net/wp-content/uploads/2012/06/yeeSerial_Win_OSX.zip

13 只要填上API-Key、设备号4、传感器号7，就可以了，与Arduino连接的串口号和波特率需要指定正确，其他部分保留默认值，点击“连接”，就可以开始发送传感器数据了。



14 在Arduino这边如何进行配置呢？不用任何配置，你的程序完全不需要任何变化，仅需要在你获取传感器读数的地方，增加两行打印语句：

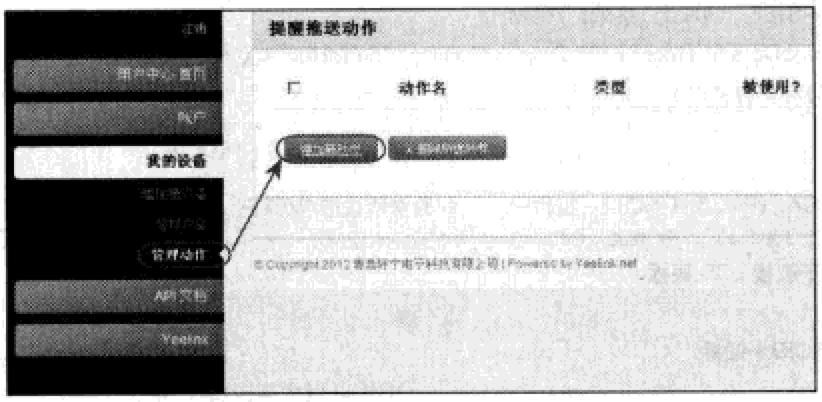
Serial.print(“yeelink:”);//上送到yeelink网站，利用Serial2Yeelink工具

Serial.println(temperature); //temperature就是转换成摄氏度的环境温度数据

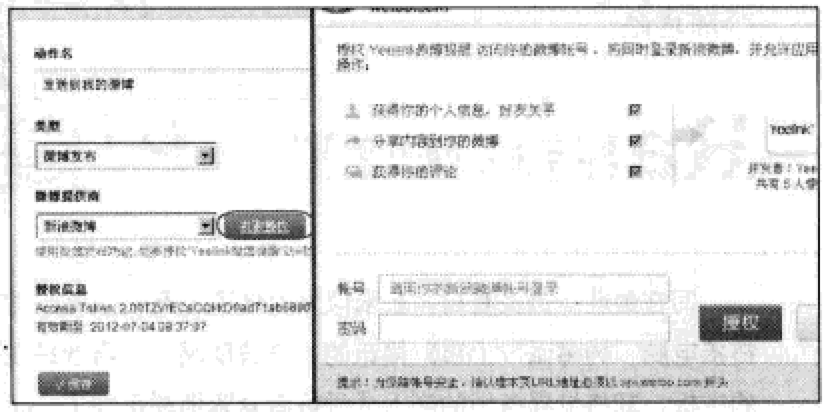
这样，转发工具就能将传感器数据发送到Yeelink上啦。

15 脱离计算机的话，如果你有Arduino和 Ethernet shield，使用Yeelink网站上提供的DEMO程序，就能轻松做到数据的独立上传了。

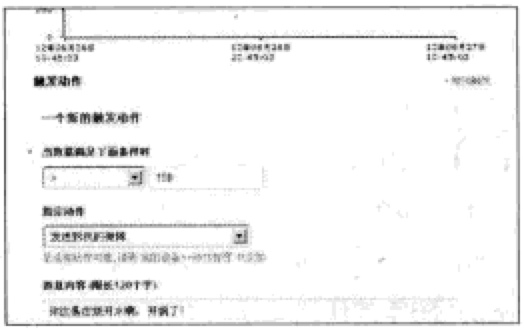
16 下面我们介绍一下，如何让传感器数据在达到某个特定值的时候，触发特定的动作。首先，添加一个新“动作”，并将它配置到传感器上，在传感器的数值达到特定值的时候，你所预设的触发动作就会生效。比如我们增加一个“发送微博”的动作，就会在传感器数据达到设定值的时候，发送消息到你的微博账号。先点击“管理动作”→“增加新动作”按钮。



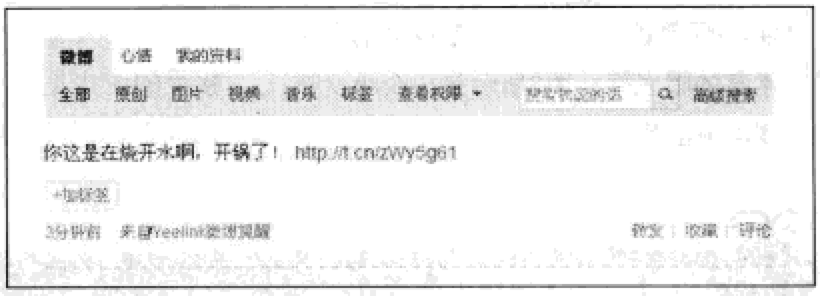
17 对动作取名后，选择类型为“微博发布”，这里以新浪微博为例，选择并填写后，点击“获取授权”。



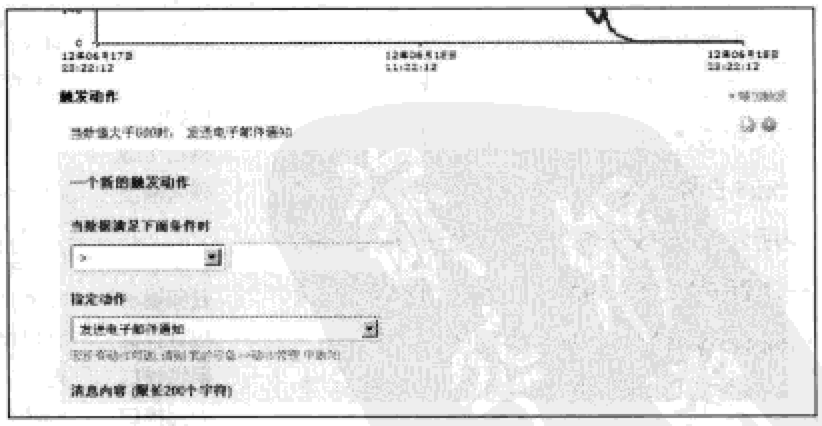
18 当获取到授权信息后，就能够向你的传感器添加这个动作，在相应的温度型传感器中，点击右下角的“添加触发”，就能完成触发操作，比如下面就是在温度传感器的数值达到100的时候，向自己的微博账号发送“开锅了”的消息。



19 传感器的数据上传后，就可以在你的新浪微博上，看到发出的消息啦，当然，你的微博好友们也能看得到，很炫吧？



20 这个功能还能完成当传感器数值高于或低于某值时，自动发送电子邮件、短信、QQ消息等多种触发动作，甚至能够直接用触发来控制其他电器或单片机。



现在你已经掌握Yeelink平台最基本的使用方法了，下面就去blog.yeelink.net了解一下使用Yeelink做出来的一些很酷的东西，一起玩转物联网吧！

◇陈建皓

Raspberry Pi夏日之初体验

写在最前：炎炎夏日，骄阳似火的除了这天气，就当属Raspberry Pi（树莓派）了。先是今年3月央视新闻中一则关于《卡片式链接电脑“树莓派”上市》简讯的“推波助澜”，再就是在各大网站上关于Raspberry Pi讨论的“异军突起”。不过是一块巴掌大的主板，却将世界各地的嵌入式爱好者紧紧地联系到了一起，Raspberry Pi的魅力究竟何在呢？缘分使然，一个偶然的机会，我如获至宝般得到一块来自大洋彼岸的Raspberry Pi，潜心研究数日，不敢独享，作文以记之。

Raspberry Pi，缩写RPi，中文译名为“树莓派”，是一个信用卡大小的、基于Linux的“卡片电脑”（Single-board Computer，单板机），由英国剑桥某实验室历经6年的研制，于2012年2月29日公开发布并接受预定。负责Raspberry Pi这个项目运作的是树莓派基金会（Raspberry Pi Foundation），该基金会主任Eben Upton（埃本·阿普顿），见图1，在媒体前有着非常高的曝光率。图2所示是一个小女孩在摆弄树莓派。

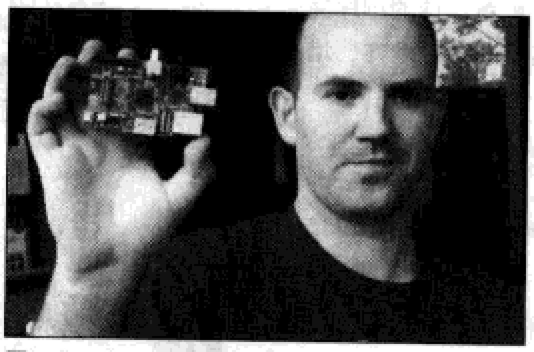


图1 Raspberry Pi项目负责人Eben Upton

图2 4岁的Emma在摆弄Raspberry Pi

探究Raspberry Pi的命名，一种广为接受的说法是：“Raspberry（树莓）”来源于剑桥以水果命名的老传统（老外为啥总喜欢和水果较劲呢？），“Pi”则为Python的缩写，意为Python将作为Raspberry Pi应用主要编程语言之一。

初识树莓派

Raspberry Pi的设计可谓巧夺天工，下面就让笔者庖丁解“派”，给大家娓娓道来。

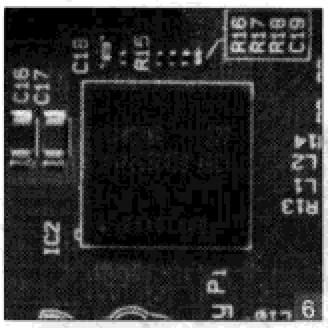
Raspberry Pi配备了一颗ARM11系列，主频为700MHz的CPU，考虑到便于普及和成本的问题，又细分为Model-A和Model-B两个版本，两个版本的区别如附表所示。一般来看，国内爱好者买到的基本都是Model-B版本。图3、图4所示是Raspberry Pi Model-B的实物图。

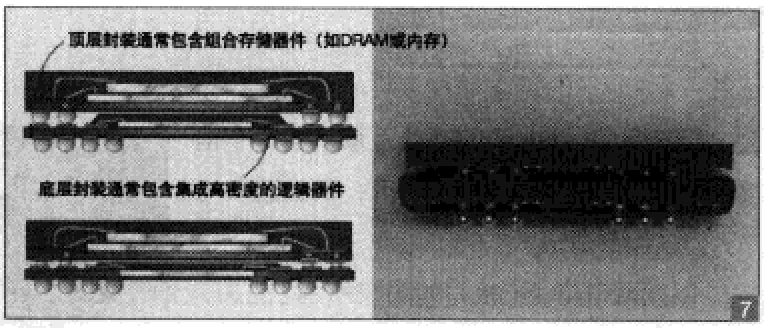
将实物图进行抽象，得到了Raspberry Pi的框图，如图5所示，现在让我们按图索骥，一同细数关于Raspberry Pi的那些部件，品味Raspberry Pi设计团队的匠心独具吧！

附表 Raspberry Pi Model-A和Model-B详细配置表

项目	Raspberry Pi Model-A	Raspberry Pi Model-B
SOC	Broadcom BCM2835（CPU、GPU、DSP和SDRAM）	
CPU	ARM1176JZF-S核心（ARM11系列）700MHz	
GPU	Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, 1080p 30 H.264/MPEG-4 AVC高清解码器	
内存	256 MB（显存与内存共享）	
USB2.0接口个数	1	2（支持USB HUB扩展）
视频输出	Composite RCA （PAL & NTSC）：复合RCA，即通常所说的AV端子 HDMI （版本1.3 & 1.4）：分辨率从640×350 到 1920×1200 DSI接口：用于连接 LCD 面板	
音频输出	3.5mm 插孔	
板载存储	SD / MMC / SDIO卡插槽	
网络接口	无	10/100 以太网接口（RJ45）
外部接口	8×GPIO、UART、I²C、带两个选择的SPI总线、+3.3 V、+5 V、Ground	
额定功率	2.5W	3.5W
电源输入	5V，通过MicroUSB或GPIO	
总体尺寸	85.60mm ×53.98mm	
操作系统	Debian GNU/Linux 、Fedora、Arch Linux 、RISC OS（目前暂时就这么多）	
上市价格	25美元	35美元

1 CPU+GPU+RAM：按照Raspberry Pi的配置表，我们应该能在板子上找到一颗Broadcom出品的、集成了GPU和CPU的BCM2835芯片。其实呢，即便你左看右看上看下看，也不会找到它的。对比Raspberry Pi的实物图和框图，我们会在CPU这个位置发现一颗SUMSUNG的芯片（不同生产批次的Raspberry Pi，芯片厂商可能不一样），如图5所示，这是内存（RAM）的位置，而BCM2835则以PoP（Package on Package）封装的形式“潜伏“在内存颗粒的下面。什么是PoP封装呢，图7所示是一个PoP封装的示意图，供大家参考。


6



7

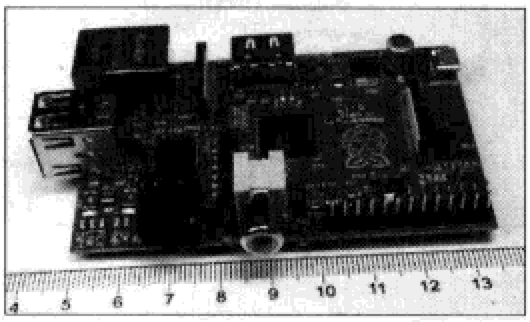


图3 Raspberry Pi实物正面

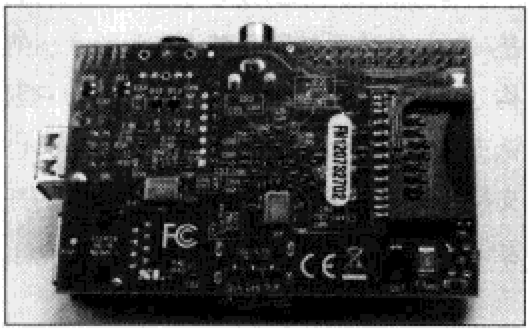


图4 Raspberry Pi实物背面

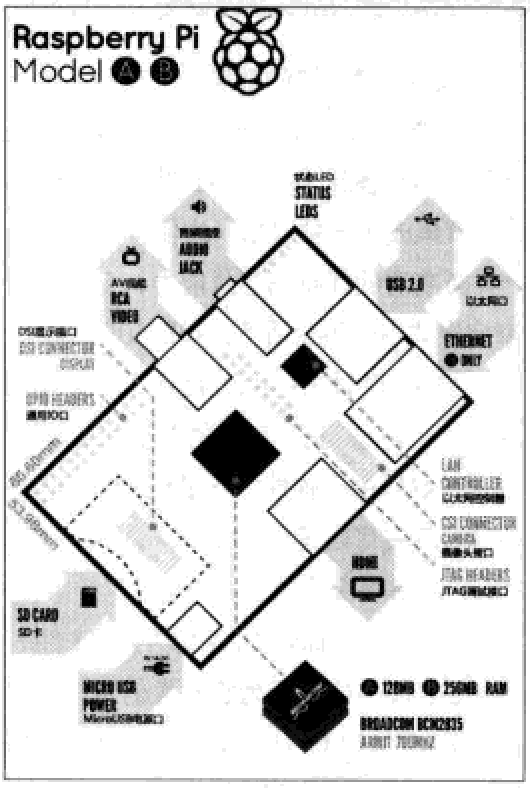
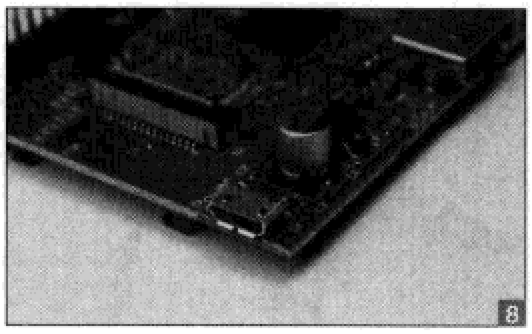


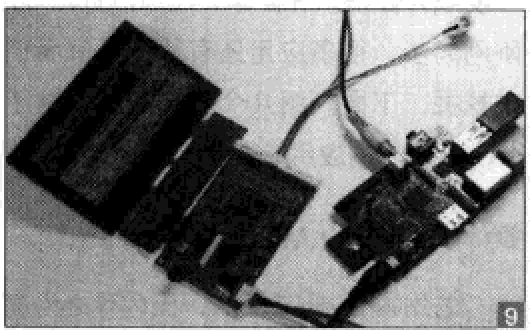
图5 Raspberry Pi结构框图

2 MicroUSB充电口（见图8）：这是为Raspberry Pi提供电源的一种重要方式。用过智能机的“亲们”都知道，MicroUSB是很脆弱的，因此建议在拔插的时候，动作一定要温柔一点。

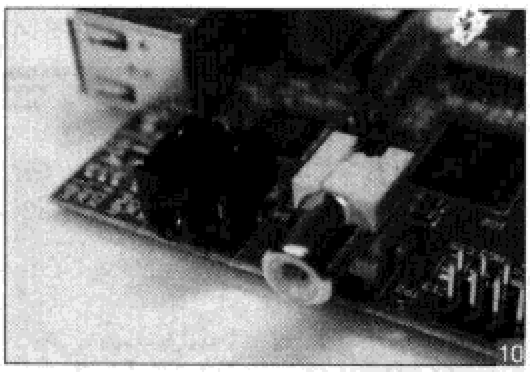

8

3 SD卡槽：Raspberry Pi的操作系统就安装在SD卡上。SD卡的选择也是有讲究的，如果选择不当就会有不兼容的问题。

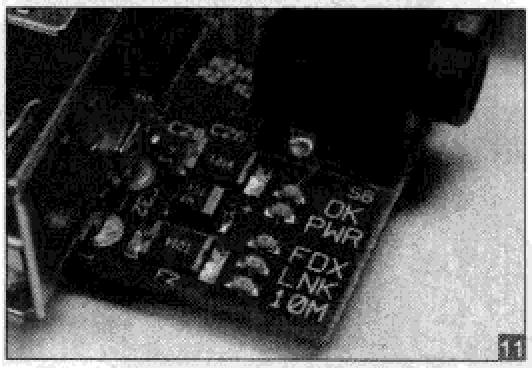
4 Composite RCA接口：复合RCA接口，也就是俗称的AV端子。Raspberry Pi是可以输出AV模拟信号的，图9所示是笔者使用Raspberry Pi RCA进行输出的示意图。


9

5 3.5mm音频输出口：如图10所示，这个不用多说，是普通耳机插口。这里必须很坦白地告诉大家，Raspberry Pi的音质并不好。


10

6 状态指示灯（Status LED）：如图11所示，状态指示灯自上而下为OK（就绪，该指示灯如果熄灭，说明Raspberry Pi没有正常启动或正在工作）、PWR（电源指示灯）、FDX（全双工网络传输指示灯）、LNK（指示网络连接是否正常）、10M（10M网络连接）。

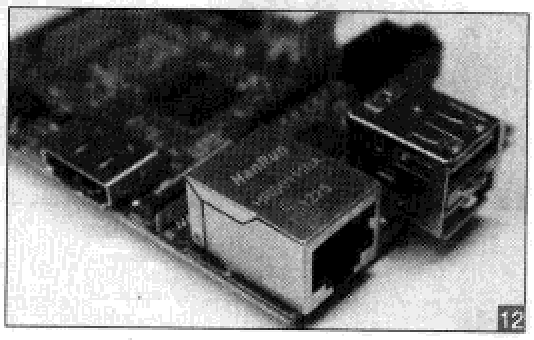


11

7 USB 2.0接口：区区两个USB哪里够用啊？好在Raspberry Pi支持使用USB HUB进行扩展。USB HUB的选择也存在兼容性问题，建议选择Raspberry Pi官方测试过的USB HUB。

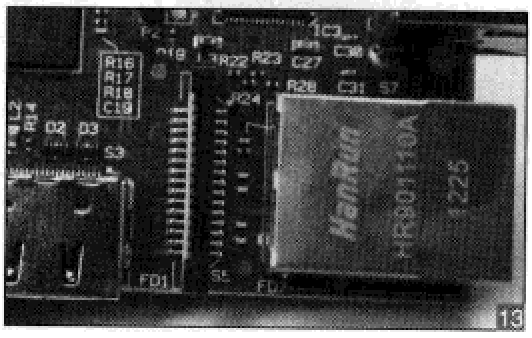
8 网口：Raspberry Pi连接互联网的一个很重要的通道，仅Model-B板子有，而且速率为10M/100M自适应。

以太网口与USB接口如图12所示。

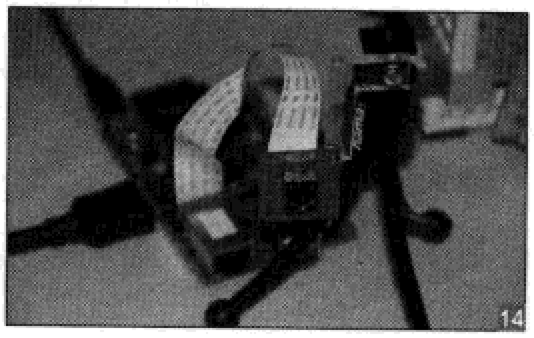


12

9 CSI接口（Camera Serial Interface）：如图13所示，Raspberry Pi要连接摄像头，就靠它（当然也可以使用USB摄像头，只是效果就不尽如人意了）。据官方消息透露，Raspberry Pi的500万摄像头模块（见图14）将在未来3个月内发售。

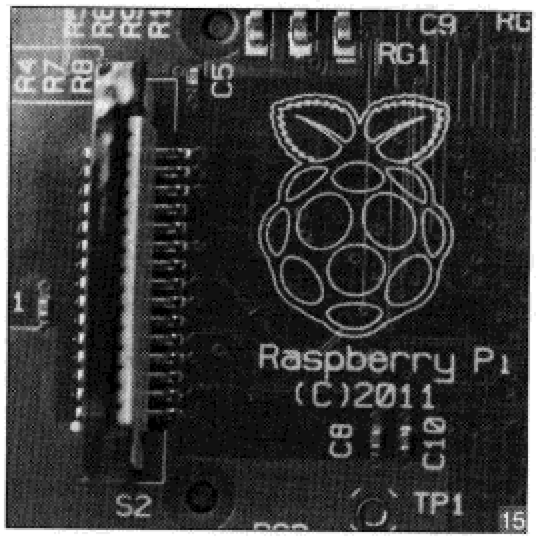


13



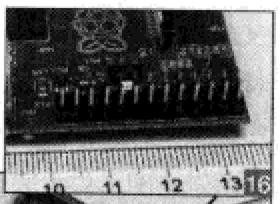
14

10 DSI接口（Display Serial Interface）：Raspberry Pi连接液晶面板的接口（见图15）。目前还没有与Raspberry Pi配套的液晶模块的消息。

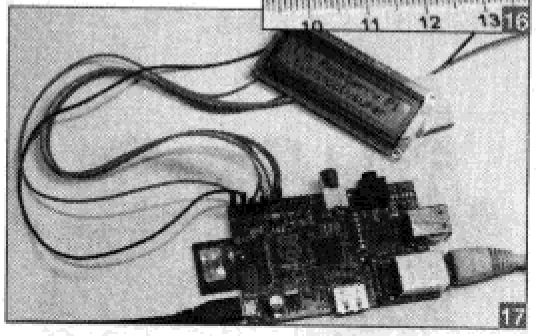


15

11 GPIO：如图16所示，它是Raspberry Pi提供的一组通用的I/O口。有了这个I/O口，Raspberry Pi就可以像普通的单片机那样驱动外围设备了，图17所示是一张笔者用Raspberry Pi成功驱动1602液晶屏的实物图。



16



17

简而言之，Raspberry Pi就是一个体积仅有香烟盒大小的微型电脑，硬件基础是ARM，操作系统则是基于开源的Linux架构（Debian、ArchLinux）。Raspberry Pi默认支持使用Python进行应用编程，当然也支持任何能在Linux体系下编译和运行的开发语言，包括主流的C、C++、Java等。

树莓派能做什么

Raspberry Pi理论上具备了电脑所有的功能，爱好者甚至在考虑如何将Windows和iOS移植到Raspberry Pi上。从功耗来看，Raspberry Pi的功耗仅4～5W（国内爱好者实测），如此低的功耗更是为各种移动应用创造了天然的条件。Raspberry Pi还带有1080p的硬件解码芯片，完美运行QuakeIII更使得Raspberry Pi一度成为佳话。在全球，Raspberry Pi才刚刚起步，很多应用还有待于爱好者们去挖掘，下面介绍几个实用有趣的基于Raspberry Pi的应用或方案。

媒体娱乐中心（Media Center）

老外叫Media Center，国内称之为高清播放器，其实说的都是一个东西。

尽管Raspberry Pi的小身板看上去很单薄，可麻雀虽小五脏俱全嘛。Raspberry Pi高度集成了一颗GPU，这使得Raspberry Pi具备高清硬件解码芯片能力，自然打造家庭媒体中心不在话下，如图18所示。

提到媒体中心，就不得不提到XBMC，XBMC是一款优秀的、自由的、开源的媒体中心软件。它最初是为Xbox开发的，现在可以运行在Linux、Mac OS X、Windows等多个平台上。

作为一个标准的媒体中心软件，XBMC表现良好，因为它开发的目标就是要成为你的HTPC（Home Theater Personal Computer，家庭影院电脑）的最佳伴侣。

目前XBMC能够播放几乎所有流行的音频和视频格式，它还被设计用于播放网络媒体，支持各种网络媒体协议。XBMC可以播放CD和DVD光盘或存储在磁盘、U盘上的文件。可以这么说，一旦安装了XBMC，你的计算机就变成了一个全功能的多媒体娱乐中心。

Raspberry Pi对于硬件高清解码、网络、USB存储等功能的支持，使得Raspberry Pi与XBMC相得益彰。目前已有多个开源项目实现了XBMC在Raspberry Pi下的完美运行，如Raspbmc、OpenELEC等。

在国外，基于Raspberry Pi打造“媒体中心”可谓是一派欣欣向荣、如火如荼的局面。从国内市场来看，各种网络高清播放器竞争日益激烈，淘宝上200~300元的网络高清播放器更是比比皆是，无论从成本、外观、技术成熟度、性能上看，基于Raspberry Pi的播放器都没有优势。因此笔者认为，将Raspberry Pi做为媒体中心的过程是值得学习和研究的，但其实际价值仍需要进一步观望。

简易网络存储（Network Attached Storage）

你是否有过这样的经历？自己下载了一部好看的电影，想跟家人或室友分享，但两个人用的是不同的电脑，就只能用U盘或者移动硬盘拷过去，或者用QQ传输。这个复制或是传输的过程虽称不上多复杂，但是实在费神。怎样让同一个局域网内的文件共享过程更加简单呢？有这么一种产品——网络存储器(NAS)，恰好能完美地解决这个问题。

网络存储（Network Attached Storage，NAS），一种采用直接与网络介质相连的特殊设备，用于实现数据存储的机制。网络存储设备都分配有 IP 地址，客户机可以直接通过IP地址，实现对网络存储的访问。

Raspberry Pi的操作系统是基于Linux架构的，因此采用Linux的Samba组件（Windows与Linux文件共享组件），就可以实现简单的网络存储。大致思路分为两步：Raspberry Pi通过USB挂载移动硬盘，来扩展存储的容量，配置samba组件，实现Windows对Linux文件系统的访问。用Raspberry Pi实现的网络存储项目叫“R-Pi NAS”，详见官方介绍：http://elinux.org/R-Pi_NAS。

是不是感觉Raspberry Pi功能很强大呢，嘿嘿，这里，笔者就要泼泼冷水了。我们知道，磁盘是很容易损坏的，一般商用的NAS产品都需要磁盘RAID（磁盘冗余阵列）技术做为基本保障，Raspberry Pi显然无法满足这点要求。其次，无论是Raspberry Pi内置的SD卡，还是通过USB挂载的移动硬盘，I/O始终是一个重要的瓶颈。换句话说，基于Raspberry Pi的网络存储的读写性能跟不上去。第三，目前部分家用路由器，绝大多数网络播放器都已经实现简单的NAS功能。综上所述，基于Raspberry Pi的网络存储只能做为一种试验性的技术实现方式。

树莓飞天（Raspberry Pi in the sky）

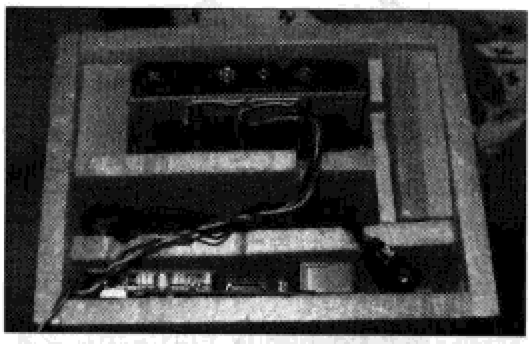
神九飞天了，Raspberry Pi 也上天啦！

来自英国的几名爱好者使用探空气球（High Altitude Ballooning）成功将Raspberry Pi送入近40km的高空，拍照并成功回收。图19所示的就是树莓飞天的装置以及电池。图20展示的是此次实验的工作人员正在给热气球充气。

高空气球，是国外爱好者比较喜欢的一种探空气象气球，它可以将有效载荷为1kg以下的装置送入近空（高度约为30km，国内学术界也叫“亚太空”、“超高空”）。在国内，玩高空气球的爱好者屈指可数，考虑到高空气球可能对空中飞行器产生威胁，释放高空气球需经过气象主管部门的批准。

在这次“树莓飞天”旅程中，Raspberry Pi作为主控计算机控制外围装置，并控制USB网络摄像头（Logitech C270）进行拍照，照片不是实时回传到

图18 国外网友打造的Raspberry Pi媒体中心



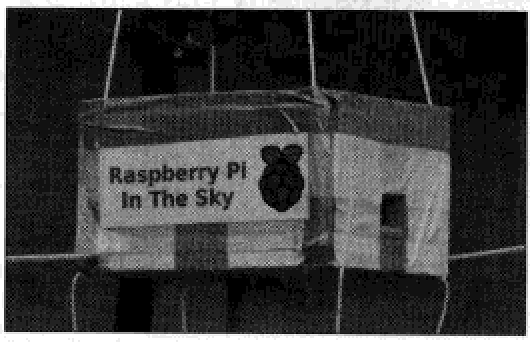


图19 “树莓飞天”的装置及电池

图20 Dave和他的朋友正在给气球充气

地面，而是存储在Raspberry Pi的SD卡中。装置还携带了一个GPS跟踪系统，并通过70cm（434MHz）无线电发送装置将传感数据、位置数据发送回地面接收站的中心服务器。“树莓飞天”的整

个过程通过Internet向全世界的爱好者进行了直播。

因篇幅限制，笔者不能一一列举。距离Raspberry Pi的发行仅仅数月，Raspberry Pi就如此华丽地开场了。“心有多大，舞台就有多大”，相信随着时间的推移，Raspberry Pi必将在嵌入式应用领域独领风骚。“亲们”，风景这边独好哦！

在哪里能买到树莓派

“亲”，相信此时此刻你已经心动了，心动不如行动，马上行动吧。

国内很多朋友都在关心Raspberry Pi购买的问题，Raspberry Pi的购买并不像其他商品一样，在网上下单，过几天就可以收到了。有商机，就一定会有市场，国内现在也有不少“奸商”趁机炒作，哄抬Raspberry Pi的价格。少则五六百元，动辄上千元的代购价格，让国内不少爱好者望而却步，当然也有不少“热血青年”抵御不了诱惑，毅然决然地选择上当受骗。

由于Raspberry Pi公开发售至今仅短短几个月时间，产量较低。可以这么说，从现在到今后较长的一段时期内，Raspberry Pi都将是供不应求的局面。一般来看，国内的用户需要购买Raspberry Pi，按照正常的流程，下单后需要等上2~3个月的时间。近期，这种局面似乎有所缓解，Raspberry Pi亦取消了全球范围内的限购（每个用户只能购买一台），国内到货的时间也明显缩短了。

Raspberry Pi官方公布了全球分销商名单，Raspberry Pi在中国的授权代理商仅两家，感兴趣的读者可到Raspberry Pi官网上查询。

几乎可以确信，Raspberry Pi为国内深圳某工厂代工，可是目前国内爱好者手里拿到的的Raspberry Pi基本上还都是从国外进口，换句话说，Raspberry Pi绕了一圈又回到了中国。算上运费、税费，一般国内爱好者到手价格大约在人民币300元左右。尽管Raspberry Pi官方已经对外公布了Raspberry Pi的原理图和PCB，但由于Raspberry Pi使用的是Broadcom专门为其量身定做的CPU，因此一段时期内，国内还暂时不会出现山寨替代产品。

树莓派学习园地

Raspberry Pi目前可供学习的资料并不多，中文资料更是如数家珍。以下是笔者收集的Raspberry Pi的学习站点和资料，供大家参考。

- Raspberry Pi官方站点：
  http://www.raspberrypi.org
- Raspberry Pi 半官方wiki：
  http://elinux.org/RaspberryPiBoard
- Raspberry Pi官方杂志：
  http://www.themagpi.com
- 国内人气比较旺的树莓派论坛：
  http://www.shumeipai.net/

项目负责人Eben Upton领衔主编的《Meet the Raspberry Pi》（《遇见树莓派》）见图21。该书的删减版本已经提供给Kindle用户下载了，完整版估计还得假以时日。

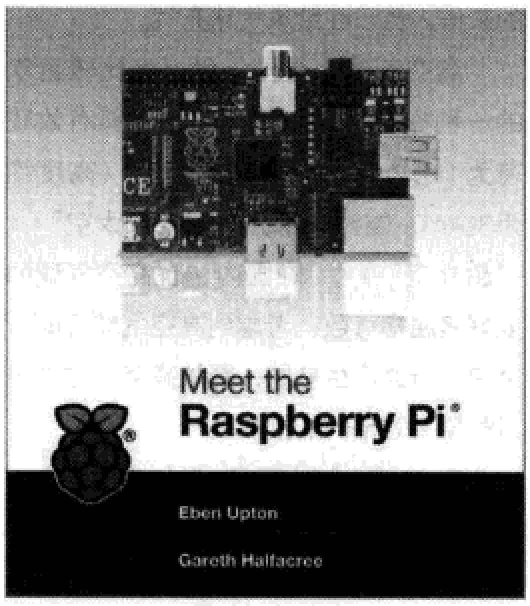


图21 官方即将发行的《遇见树莓派》

关于树莓派的随感

“野有蔓草，有美一人，清扬婉兮，邂逅相遇，适我愿兮”，笔者刚刚“遇见”Raspberry Pi之时，和这段源于《诗经》诗句的心境是一致的：惊喜、意外、适心、愉悦。

Raspberry Pi一夜之间火了，然而“人生若只如初见”，又“何事秋风悲画扇”呢。对于Raspberry Pi的评价，目前来看，还是赞誉多于贬低的，当然国内也有不少反对的声音。冷静下来，我们还是应该多思考Raspberry Pi最有优势的应用场景是什么。网络播放器也好、BT下载机也罢，还有网络存储，这些Raspberry Pi都可以有，但与国内廉价的同类山寨产品相比，无论在性能、成熟度还是价格上都没有丝毫优势。正如笔者对于Arduino的看法一样，Raspberry Pi在国内能否可持续健康发展，还有待于时间的检验，更有待于大家共同的倾注、关怀与奉献。

套件KITS

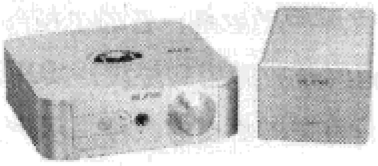
购买方式：1. 邮局汇款：北京市东城区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收邮编100061，
请在汇款单上注明相应套件名称及联系电话
2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com

音频套件

PANDA MK2升级版耳放套件

980元/套+35元（邮费）

特点：PANDA MK2 耳放整机套件融合了中国音响DIY旗下品牌厂家aune的艺术气质和设计思想,再现平衡之美的极致。外形精巧细致，圆润丝滑，彰显时尚、典雅。整机设计采用完全分离的主机+电源结构。电源供给上，耳放输出级采用简单的非稳压电源供给，保障输出瞬时峰值功率时，能获得更大的电源功率供给，而电压放大级与输入级增设线性稳压电源设计，极大地减小了电源纹波干扰，提高电源抑制能力。



制作方法详见
《无线电》2012 年第 5 期杂志

T1 24bit TUBE USB DAC 电子管解码器（成品）

特点：采用优质线性电源，五芯外接电源接口，双组电源供电，大容量电容滤波，更有效降低电源干扰，采用高质量元件生产，ALPS电位器，WIMA电容，4位精密贴片电阻，ENLA音响专用电解电容，电子管座、USB口、RCA端子都采用镀金材质，全套ON稳压器件！可完美支持24bit输入，并轻松自如地对应Mac、Ios、Win7/ Win8/ XP/ Vista等多种系统，即插即用，让电脑的声音不再冰冷。

【标准版】标配 6N11 电子管，
定价：680 元 +15 元（邮费）
【高阶版】标配 6922 电子管，
定价：780 元 +15 元（邮费）
颜色：月光银、典雅黑

S1 32bit/24bit电源分体式母带高保真播放器（成品）

2780元/台+25元（邮费）

特点：具备高素质的数字输出，16bit 输出-93dB，24bit输出-132db（实测），采用特级数字输出变压器和COG输出电容！内部镶嵌4层PCB的32bit AKM4390 DAC，AKM4390俗称甲类DAC芯片，32bit芯片内部集成DSP，具备耳机输出功能，能直接驱动耳机，具备ESATA接口的固态硬盘是未来32bit播放器最重要存储介质，能直接播放32bit音乐文件。

购买此产品可获得2012年《高保真音响》杂志社出版的价值30元《电子管声频应用指南》一本！先到先得！快快行动吧！

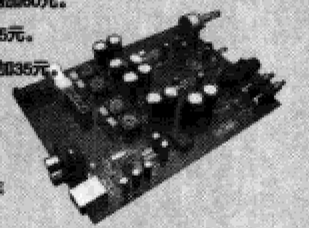
音频套件

MINI USB AMP套件

290元/套+15元（邮费）

特点：采用BB公司新型的Hi-Fi高品质D类放大芯片TPA3121，同时配合USB接收解码芯片，组成带有USB功能的纯后级D类放大器，本放大器具有极高的效率，在小体积中实现2×50W功率。

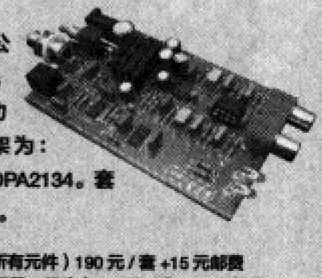
本套件不包含配套电源，其中功放的输入电压要求为12 25V直流，电流必须达到3.5A以上。如果使用笔记本电源，接口必须保持一致，中间为正。如果您希望增加配置，可选择：
①增加配套专用开关电源，需加60元。
②增加USB接收部分，需加65元。
③电位器升级为ALPS型，需加35元。



制作方法详见
《无线电》2010 年第 3 期杂志

MINI 1793 DAC套件

190元/套+15元（邮费）



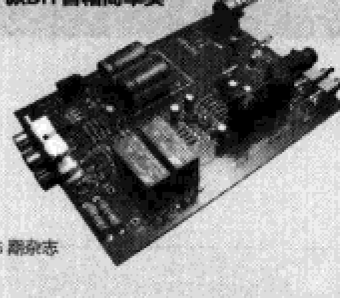
特点：套件使用TI公司出品的PCM1793，可以实现24bit解码功能。套件的电路框架为：DIR9001+PCM1793+OPA2134。套件采用小体积极限设计。

散件套件：（PCB+PCB 上所有元件）190 元 / 套 +15 元邮费
整机套件：（散件套件 + 变压器 + 机壳）260 元 / 套 +15 元邮费

测量套件

110元/套+15元（邮费）

特点：本套件主要用来配合计算机声卡测量扬声器和音箱的各项参数，是一款DIY音箱简单实用的测量工具。



制作方法详见
《无线电》2010 年第 5 期杂志

畅美（Charme）书架箱

3680元/套+运费到付（70～140元）

特点：Charme书架箱将SEAS新型中低单元与SCAN-SPEAK经典高音单元相结合，配合专门度身打造的分频电路，组成性能卓越的书架音箱系统。

制作方法详见
《无线电》2012 年第 2 期杂志

用光驱制作CD转盘套件

99元/套+15元（邮费）

特点：光驱控制器是一款用单片机来控制光驱播放CD的控制板，网上称它为CDROM控制器，CDROM控制器是通过IDE接口来控制光驱的。它的优点是能方便地实现CD机的基本功能，如：显示时间、曲目等；用遥控器、按键控制光驱播放、暂停、选曲、进出盘等。

本套件不包含配套电源，其中功放的输入电压要求为12～25V直流，电流必须达到3.5A以上。如果使用笔记本电源，接口必须保持一致，中间为正。如果您希望增加配置，可选择：
①增加配套专用开关电源，需加60元。
②增加USB接收部分，需加65元。
③电位器升级为ALPS型，需加35元。

制作方法详见
《无线电》2010 年第 2 期杂志

Arduino套件

新年优惠大促销

Arduino入门套件（新版）

159元/套+15元（邮费）

特点：这套UNO版本的初学者套件是精心为初学者设计的一款学习工具。它可以帮助您用流行的Arduino工具体验丰富多彩的电子世界。在整个实验过程中无须焊接，直接在面包板上插拔元件即可。本套件还附带了10节适合初学者的实验课程，每一节实验都配有图文结合的实验说明文档和非常有趣的例子程序。

Arduino Sensor 9件套装

180元/套+15元（邮费）

特点：包括LM35线形温度传感器（模拟）、环境光线传感器（模拟）、倾角传感器（数字）、触摸传感器（数字）、磁感应传感器（数字）、震动传感器（数字）、大按钮模块（数字）、灰度传感器（模拟）、LED发光模块（数字）、3根模拟传感器连接线和6根数字传感器连接线，是学习Arduino初级应用的最佳搭配。搭配XBee传感器扩展板V5，使用起来更加方便。另有高精度传感器见淘宝店介绍。

基于Arduino的自动浇花套件

295元/套+15元（邮费）

制作方法详见《无线电》2012 年第 4 期杂志

基于Arduino的太阳能收集装置套件

1021元（运费到付，25～30元）

3D8S的设计理念与开发心得
——基于Arduino的8×8×8光立方

◇官微宏（aGuegu）

3D8S 是基于Arduino平台的8×8×8立方体LED显示模块，使用经典且扩展性强的点阵驱动电路，它的主控部分与LED驱动部分分离，哪怕是要使用其他平台实现主控，依然可以使用3D8S实现制作。它能提供开放的控制协议，实现驱动与动画的分离，让爱好者可以在自己擅长的环境下实现动画。伴随不断壮大的开源社区，与它有关的更多的教程、示例、应用都在不断更新、成长。

自从2010年底看到国外的8×8×8 LED光立方演示视频后，我就被那绚丽的三维动画效果震撼。而再仔细琢磨一下，就发现从硬件角度来分析，光立方无非就是LED点阵的层叠，所以，要制作光立方，只要使用现成的二维点阵屏原理图就可以，无非是布线稍作调整、拉大了LED点间间距而已。至于三维动画坐标系的建立、动画的运算，这些都是软件应用程序层面的任务。

感谢福州的方圣源和深圳的徐平，在他们的大力协助下，如今3D8光立方已经发展到第2代——3D8S。接下来我就从硬件到软件解析新版3D8S的设计理念及开发过程中的心得。

驱动

刚才提到在硬件电路层面，并没有什么三维的概念，依然是按照二维平面点阵来处理，只是按照三维进行布线。也就是说，8×8×8的立方矩阵，等效于64×8的平面点阵。

3D8S也是沿用了经典的LED点阵驱动电路——TB62726+AP4953。TB62726是东芝公司出品的16位串入并出恒流LED驱动芯片，在控制上大致等效于两节串联的74HC595，驱动简单，又具备可以级联

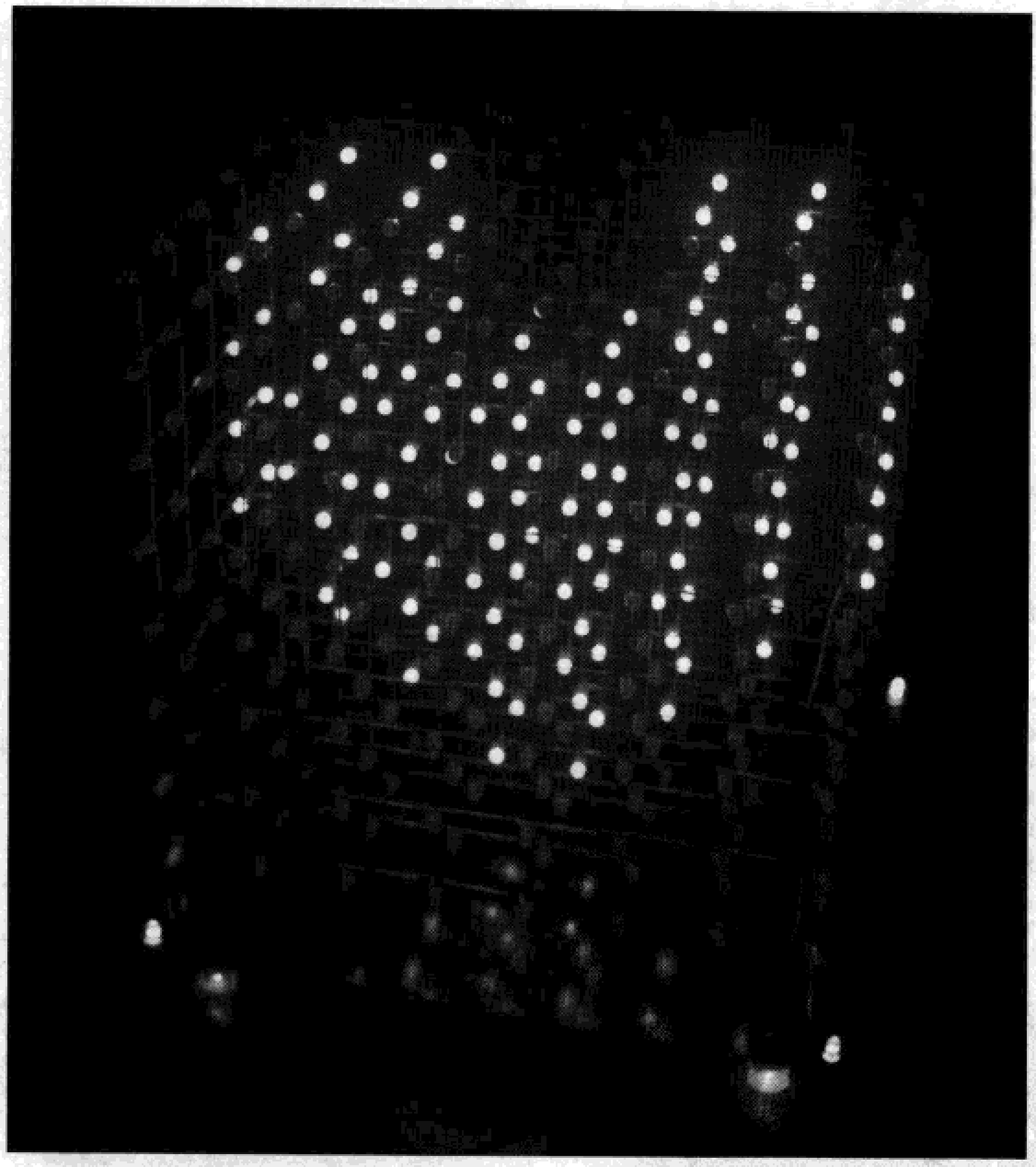


图1 3D8S 显示桃心

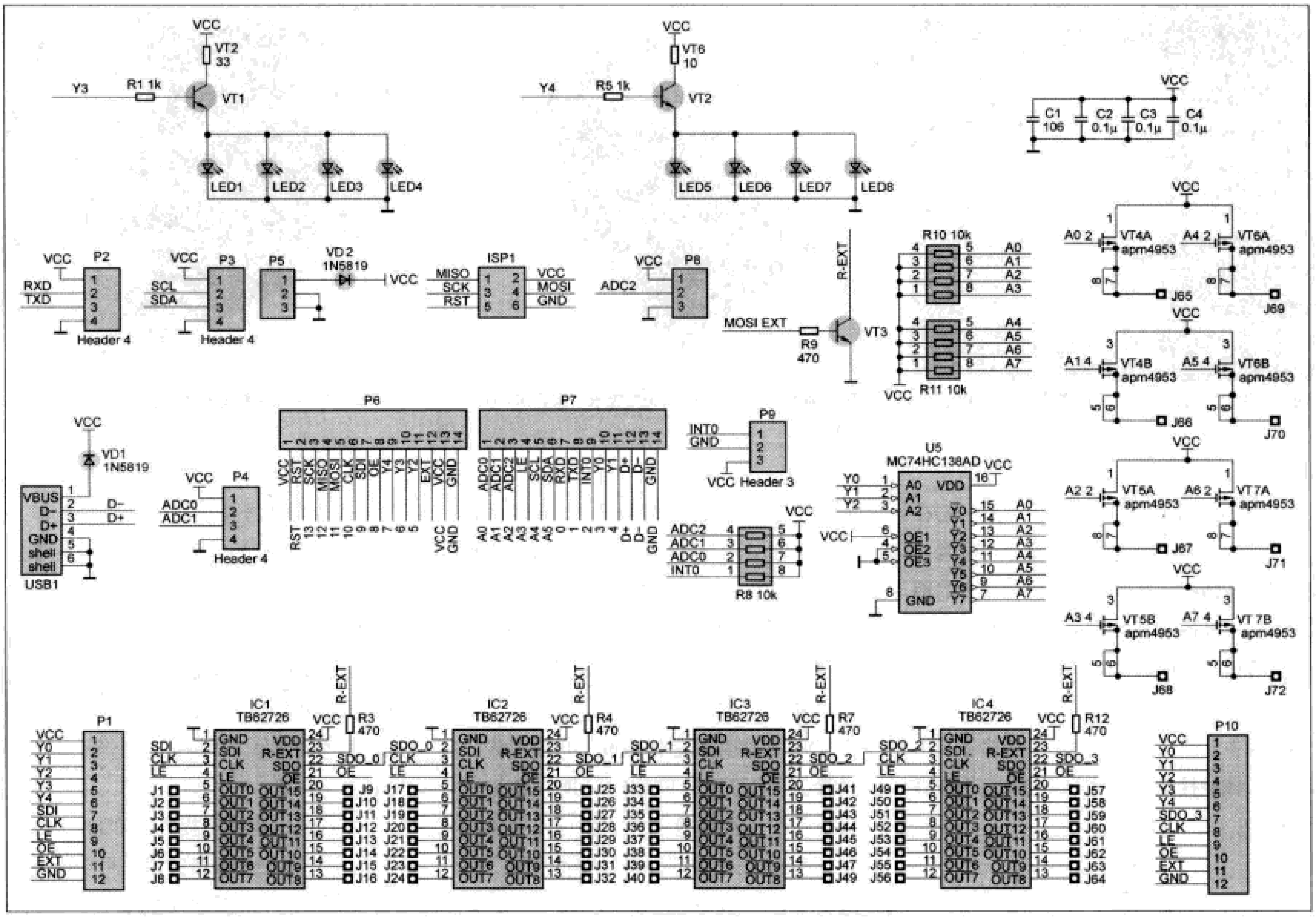


图2 3D8S原理图

的特点。同时，可以通过R-EXT引脚，集中控制各个输出引脚的电流。这样，一方面可以省去64个限流电阻，另一方面还可以通过PWM（脉宽调制）对全局亮度进行无级调节。

在LED的连接上，使用“束内共阴，层内共阳”的连接方案，这也是由我们的驱动方案所决定的，相当于二维点阵的“列共阴，行共阳”。在进行显示的时候，3D8S采用“逐层扫描”的方式，也就相当于“逐行扫描”，利用视觉暂留呈现整体画面。使用逐行/层扫描的方案，在全亮的状态下，在单位时间内就点亮一层内的64个LED，扫描8次就可以实现整体画面的显示，驱动效率高，而且亮度表现也不错。作为经典的平面点阵驱动方案，玩家大可不必担心串入并出的输入效率，还提供了进一步级联的空间，而且占用的I/O数量很少，就能实现对于512个LED的点控制。

在LED的具体搭接中，3D8S作为光立方的平台，并不限定LED的种类，常用的2.7~3.3V的LED都可以使用，只要引脚长度是标准的阴极25~26mm、阳极27~28mm即可。这样就可以直接使用引脚实现平面矩阵的搭接，3D8S设计的LED间距为22.86mm（900mil）。个人推荐使用个头小的LED，因为光立方之所以能有三维的效果，是因为后排的LED相比前排的LED，在空间上有真实的物理距离，而如果LED的尺寸过大，就会降低整体的通透性，导致后排的光点被前面的重重LED挡住，显示效果就会大打折扣。

在LED的朝向选择上，3D8S默认使用水平朝向，因为这是我目前经验中最快的搭接方式，利用一片钻有8×8圆孔的模板即可实现一面8×8 LED引脚的纵横交错焊接。搭接LED真的是一件体力活儿，512个LED，1000个以上的焊点是逃不掉的，提高效率和尺寸精度是不得不考虑的问题。朝天的LED设计中，虽然在理论上实现了四面亮度的一致，但由于LED特质决定其可视角度有限，虽然亮度一致，但都不够高。而亮度最高的俯视角度，又很少真正用来观赏，所以还是有点力不从心的感觉。水平朝向，至少保证了主要观察角度的最佳显示效果。

在此特别提醒一下，LED其实是相对比较娇嫩的元件，尤其是当它放在动态扫描的点阵当中，不少单独使用不会暴露出来的问题，都会显现出来。轻则亮度不

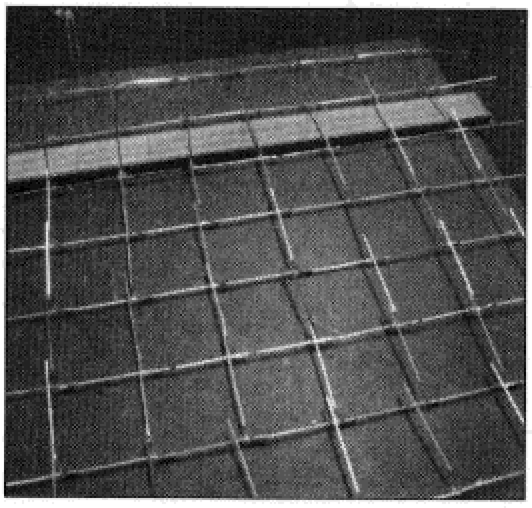


图3 使用模板将LED搭接成整齐的3D8S光立方

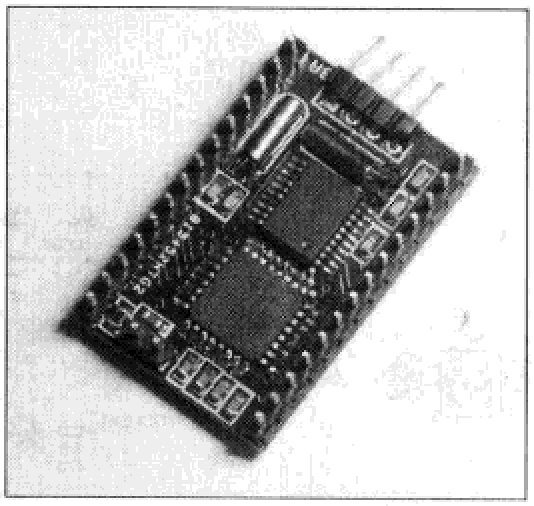


图4 为3D8S特制的Arduino主控卡（兼容UNO）

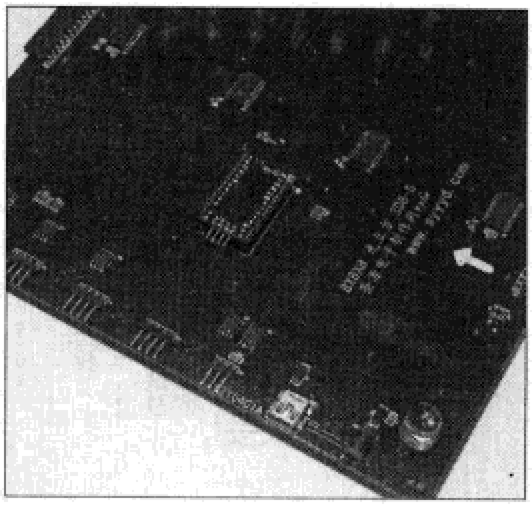


图5 3D8S采取了主控与驱动电路分离的设计

均，重则反向击穿，使得同束内的LED在不该亮的时候也会亮起，搞成显示异常。所以，友情提示各位希望搭接光立方的朋友，在不具备测试条件时不要贸然开始搭接，等搭接完成后才发现问题，就为时晚矣，修复会付出成倍的时间和精力。在焊接过程中，请注意工作台面的绝缘以及烙铁、人体的接地，尽量避免造成LED被静电击穿。

主控

3D8S基于开源硬件平台Arduino（见图4）实现主控，而又不仅限于此。我们采用了LED驱动电路与主控芯片分离的设计（见图5），就像兼容电脑一样，主板是可以换CPU的。这样设计也是为了方便有不同平台倾向的朋友，可以用Arduino/AVR，也可以用89C51平台。哪怕无法制作尺寸、引脚兼容的主控“小卡”，因为3D8S可以实现总体级联，也就是说，多套3D8S可以级联运行，所以通过主板上引出的级联输入口，就可以完全控制整串3D8S。换句话说，哪怕没有“板载”CPU，通过“外挂”CPU，也一样能运行。

选用Arduino作为主要的控制平台，一方面因为其自身功能强大、扩展能力强，另一方面因为它易学易用，有许多开放的资源，上手方便。围绕Arduino有强大的开源社区，高手云集，光立方在极客的手里可能出现完全意想不到的效果。个人的力量终究有限，而借助社区的力量能够成就出色的作品，相信这也正是开源硬件的魅力所在吧！

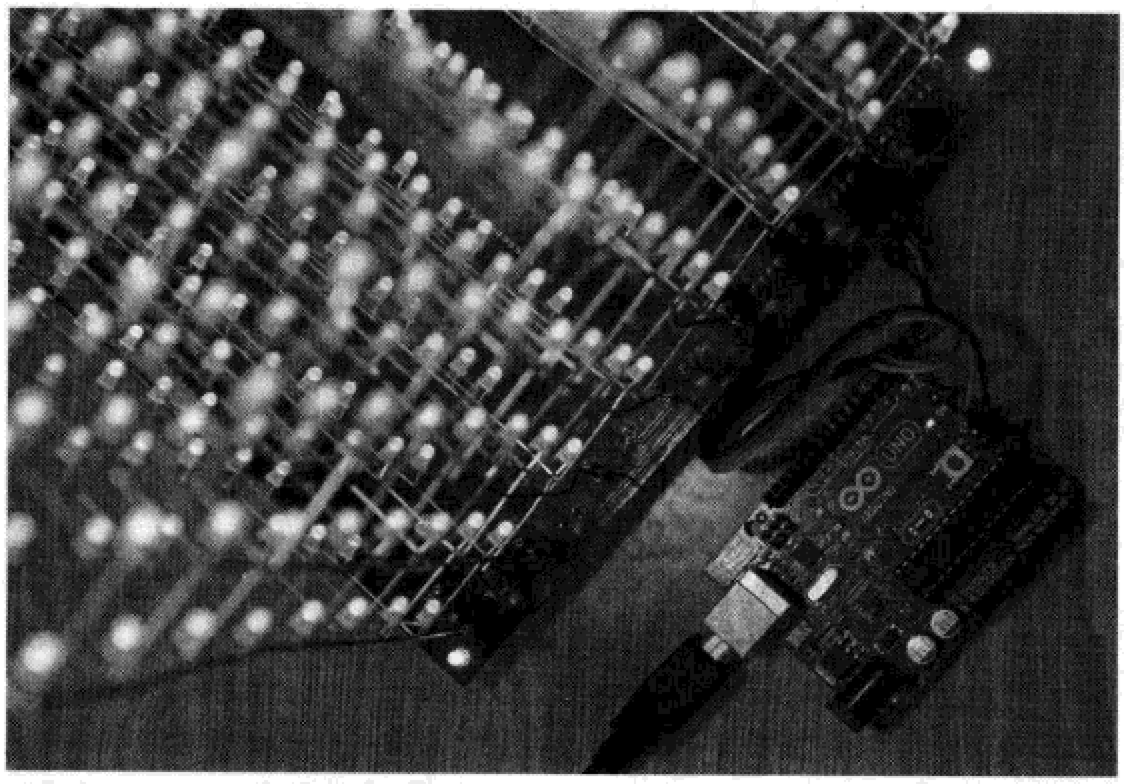


图6 使用Arduino UNO通过协议控制3D8S动画

在这里，不得不提到3D8S的定位。3D8S 并不是一个设备完整而且功能丰富的“成品”，它的定位更侧重于一个单纯的三维显示模块。一个“成品”，设备再完整，也只能相对完整，功能再丰富，也只能相对丰富，在封闭的环境下开发，终究会落后于用户的需求。主控发展日新月异，而驱动部分的电路其实是相对经典而稳定的，3D8S就更侧重于作为显示模块，就像显示器的更新频率低于CPU、内存一样。所以，不少玩家问我3D8S能不能显示音乐频谱、玩游戏之类？其实就像问显示器能不能看电影、玩游戏一样——那并不是显示器的事情，而是整个系统及其应用程序共同完成的事情。功能的实现，来自于主控的控制以及应用程序的执行。3D8S的设计也是一样，重点放在LED显示的驱动，至于功能的实现，主要是交给外部系统。我把控制方法、应用示例，以开源的方式分享出来，以满足用户个性化的需求，也能让爱好者学到更多。

当然，为了证明Arduino平台的强

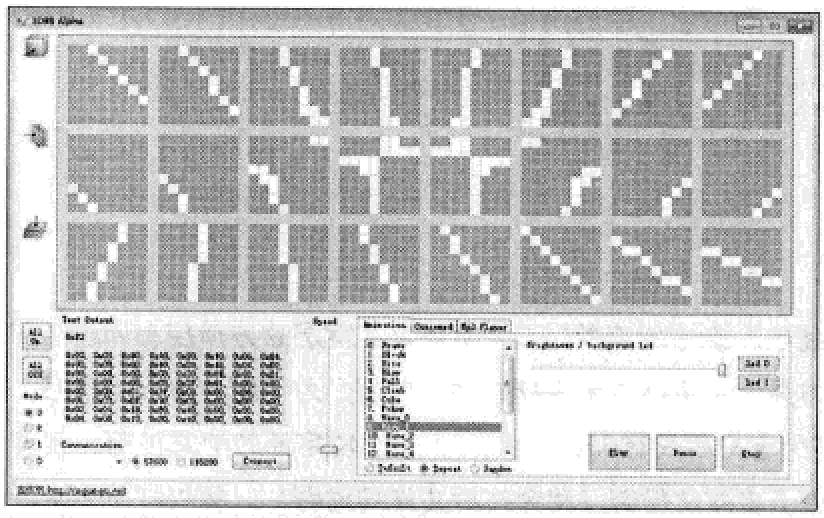


图7 集成了三视图取模及动画的PC上位机程序

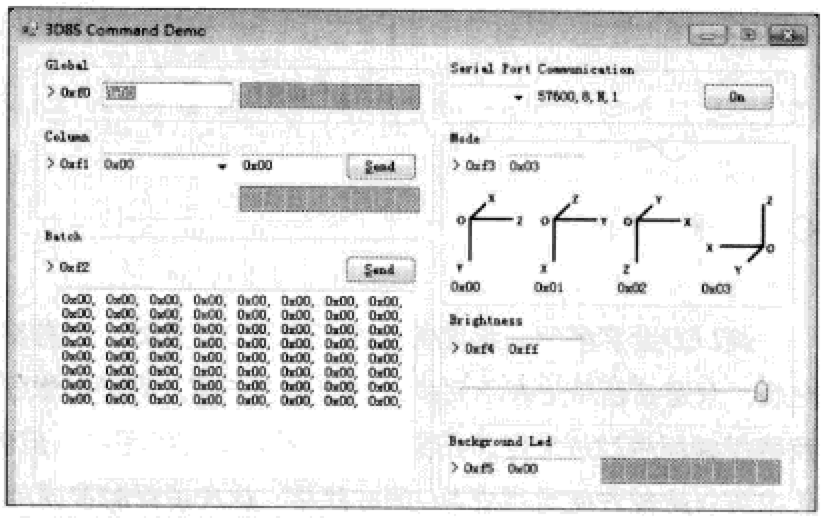


图8 用于演示通信协议的上位机程序

大，3D8S也提供了完全只使用一片主控（Arduino UNO，代码可以通过Arduino开发环境编译下载）驱动LED，同时生成动画的示例程序。但我个人并不是很推荐这么做，因为这样看似强大，实际上以牺牲显示性能为代价的，程序的层次结构也相对复杂，而且限制了动画逻辑的开发环境。换言之，在硬件平台上，是较难实现相对复杂的动画逻辑的，至少在开发语言的选择上，就没有多少选择，何况硬件资源也相对有限。

协议

既然推荐外部控制，那么总要有所依据，而这依据，就是“3D8S串口通信协议”。其实从个人开发历史进程来看，其实也是先有混在一起的驱动与动画，再有独立的协议。作为有一定使用高级语言（C#、Ruby、Java）经验的开发者，在使用单片机开发平台开发动画的时候，我深深感受到创意受平台、硬件资源所制约时的苦闷。而设计协议，就能实现“驱动与动画分离”，让3D8S只负责接收数据和显示，把动画的设计实现转移到另一片单片机系统、电脑，甚至移动平台上（见图6）。

在这些开发环境下，硬件资源得到了大大扩展，软件方面可以使用更加高级的面向对象的语言，这些都极大方便了动画的设计实现，尤其是像我这样软件出身的开发者，可以使用自己拿手的语言尽情发挥创意。而且因为使用的是波特率为57600的标准串口通信，实际上也淡化了平台差异。毕竟几乎所有的硬件平台，相信都支持串口的输入、输出。

在协议部分，如果使用带有协议的主控“小卡”，通过串口按照协议格式发送数据，就能实现对3D8S上的各点亮度的控制。在第2代的协议中，还集成了输入模式的选择，使得同样的动画数据输出可以在3个正交方向显示，同样的动画逻辑，显示方向可以是上下，也可以是左右，或者前后。进一步扩展了动画的多样性，让动画可以更富于变化，也减少了动画编程的难度，不用因为转变显示方向而重新设计算法，让“小卡”自行“举一反三”。

从数据结构分析，其实对于一个8×8×8立方矩阵，或是一个64×8平面矩阵的控制，其实在应用层面，就是对一个长度为64的单字节数组的控制。一个字节有8位，每位都有1和0两种状态，对应LED的亮和灭。长度为64，那么也就有了8×64=512位，对应512颗LED。而对数组操作是有一定方向性的，或者说，这512位其实关系并不是那么对等。这就造成某些动画从某个角度切入容易实现，而这个特定角度又未必是理想的观赏角度。此时借助输入模式的切换，就能轻松解决这样的矛盾。

说到动画显示，个人感觉在8×8×8光立方有限的分辨率上显示静态位图、字体的能力还是比较薄弱的，又因为点与点间距较大，不太容易构成连线的视觉形象，所以显示笔划效果也不理想。而一旦运动起来，效果又完全不一样。所以我这里说的动画，都是矢量动画，是通过计算所求得的新一帧的动画。这也是玩转光立方过程中最难而又最有趣的部分。

上位机

有了协议，就可以跨平台通过外部系统对3D8S的显示效果进行控制。我用C#编写了上位机软件（见图7、图8）。3D8S的上位机软件，可以对3D8S 进行三视图取模，演示各种协议命令、播放动画以及音乐频谱。玩家通过它，可以更容易理解如何玩转3D8S光立方。更让人惊喜的是，西安的“噬魂”同学，就根据3D8S 开放的协议，在学习Java语言的过程中，编写出自己的上位机程序，比起我“原配”的程序毫不逊色，真是厉害。我也是后来才知道，其实市面上大多的LED广告牌的控制，也都同样采取了上位机配合下位机的形式。看来“驱动与动画分离”也是业内流行的驱动方式。

想了解关于3D8S的更多资料，欢迎访问我的博客——古作坊（http://aguegu.net）。

单片机版光立方的制作

◇刘小平　李志远

继LED金字塔后，我很想再做一次LED立方体，之前在《无线电》杂志发表的LED金字塔其实就是立方体控制原理的简化版，只是在程序上并不完善，属于静态扫描。即便是做好了立方体，也不能显示多样的动画效果。为了制作出好的作品，我将控制程序改进为动态扫描控制，虽然是汇编程序，但包含了伪定义后只有63行，我加上了比较完善的中文注释，这样大家可以比较方便地移植为C语言程序。这次设计的是通用版，便于多样化控制（我会在后文详细说明），所以程序会有升级，当然有能力的个人可以自己设计控制程序。如果有升级的立方体程序，我会及时和《无线电》杂志社联系，发布在网站上，以供大家参考。

视频：http://v.youku.com/v_show/id_XNDIwMzM5NjE2.html

下面，就把我的设计原理和程序与大家共同分享一下。本人能力有限，难免有不足之处，还请读者指正！在开始前，我还是要多唠叨一句：我们的作品坚持原创、坚持开源，教学性转载请注明出处，作品包含的程序、原理图不得用于商业用途。

制作说明

灯珠焊接

制作立方体最大的工作量在于灯珠的焊接，恐怕大家对512个灯珠的焊接都心存顾虑，这次我特意解决了这个问题，灯珠的焊接不仅有了速度，而且有质量保证，方法如图1所示。

用一张18cm×30cm的万能板，上面焊接间距为2.54mm的排针，横向间距孔数是7个，纵向间距孔数是8个，这样焊接出来的8×8点阵灯珠的间距就都是8个了。这种方法适用于长方形灯珠，如果是普通型的灯珠，改为间距较大的排针就可以了。间距也需要做适当调整，为了保证横向和纵向灯珠的间距一致，横向和纵向的排针间距是不一样的，模板做好后，用法如图2所示。

横向弯折的是发光二极管的负极，纵向弯曲的是正极。为了便于焊接，纵向的引脚弯折了两次，即横向一次（与负极一致），再纵向弯折（弯折点大约在3mm处，不同厂商的灯珠略有差异，以实际模板比对为准）一次。之所以让正极做纵向弯折，是因为发光二极管的正极引脚都要比负极引脚长一些，这样就不会因为弯折两次而导致引脚长度不足。当然，我是最大限度地发挥了引脚的长度优势，读者可以根据自己的实际情况来决定灯珠的间距。

摆放好的灯珠如图3所示。这样摆放后，灯珠的引脚都是紧挨在一起的，几乎不需要人为矫正，直接上焊锡就可以了。因为引脚的摆放状态都是适合焊接的，所以焊接起来非常方便，保证没有虚焊。这种模板下做出来的点阵是非

附表　材料清单

名称	数量（个或者组）	价格（元）	合计（元）	备注
长方形蓝色灯珠	512	0.2	102.4	如选用普通二极管，可节省很多
18cm×30cm万能板	3	7.5	22.5	
弯排针	7	0.25	1.75	
74LS245	16	1.65	26.4	hc系列的比较便宜
20脚IC座	16	0.14	2.24	
2.54mm冷压端子	2	2	4	
最小系统部分	1	13	13	这是粗略的计算，具体有差异
线材	1	30	30	
5V/2A电源	1	14.5	14.5	
总计			216.79	

注：如果使用一般的发光二极管，100多元就可以买到全部材料了。

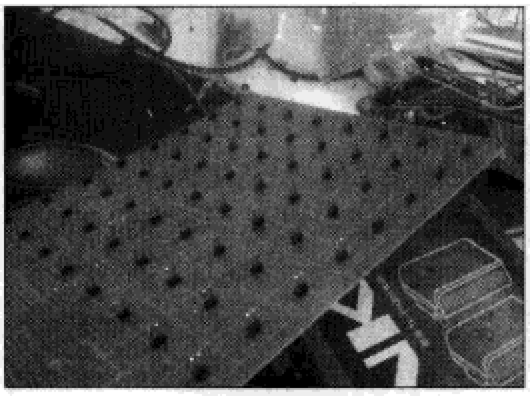


图1 在万能板上按顺序焊接上排针

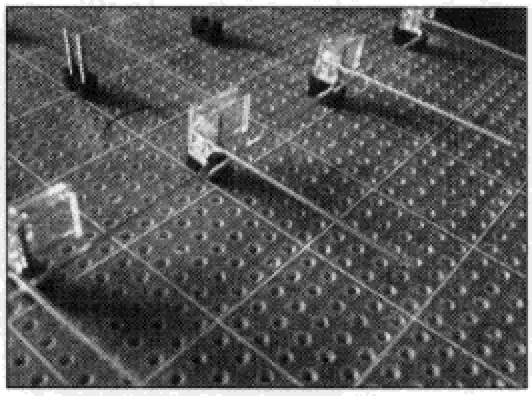


图2 发光二极管正、负引脚弯折方式

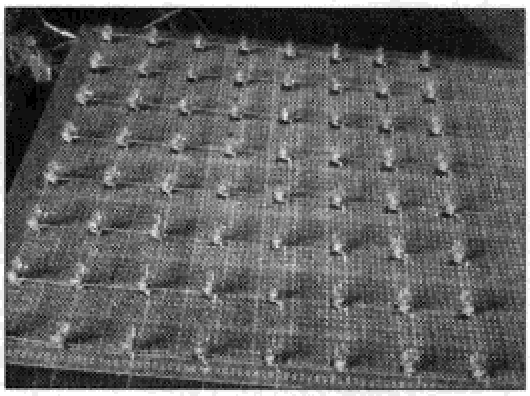


图3 按一定顺序摆放好的灯珠

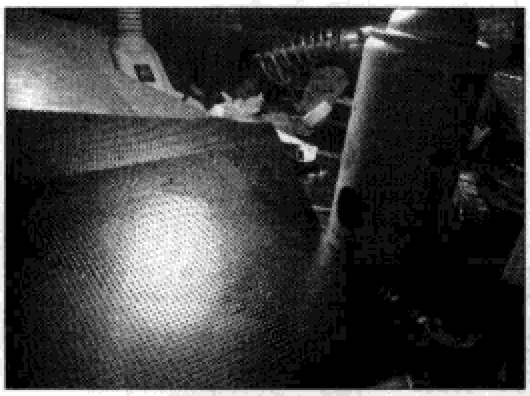


图4 在万能板上喷上黑漆

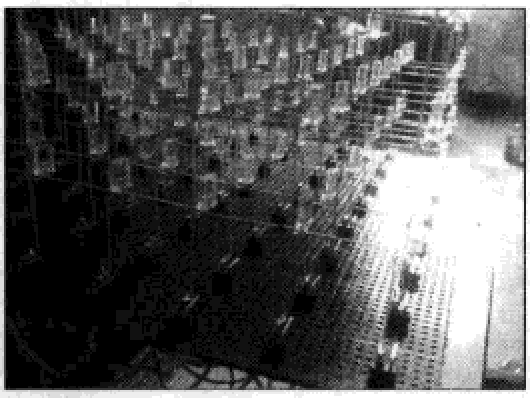


图5 进行初步焊接之后的立方体

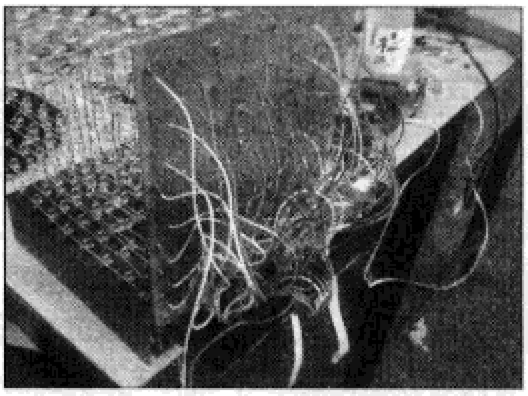


图6 在底板和侧板焊接上连接线

常结实的，一般来说，当焊接好后的点阵用镊子小心地取下来时，你会发现取下来的平面都是横平竖直的。如果偶然出现弯曲的点阵面，可以直接用手做矫形，不需要担心点阵会被弄坏。我的实际经验告诉我，这种方法焊接出来的点阵，只要在焊接上不马虎，绝对结实；只要焊锡够均匀，也不会出现开焊点。

驱动板的设计

准备两张18cm×30cm的万能板，喷上涂鸦用的黑色喷漆，如图4所示，这种喷漆的价格较为便宜。

再拿出8×8的点阵，量好裁剪的尺寸，因为点阵引脚也有长度，所以长比宽要略长些（实际上是矩形），引脚如图5所示。

固定板不是预想中的正方形，驱动板分为底面和侧面，都是完全一样的。在图5中，弯排针起到了固定点阵的作用（有个细节是图片里体现不到的，在点阵引脚末端，是焊接了冷压端子的，就是杜邦线插头的金属部分），这样加工后，点阵就会变得易于组装和拆卸了。

在组装之前，先要在底板和侧板上焊接连接线，如图6所示。

每个面都有64根线，合计128根，我用的是零散的杜邦线，长度刚好合适。读者可以自己做线或者购买成品，成品价格也不贵，而且成品线的好处是，一端是8Pin的插座，另一端是8根裸线，非常方便组装。

这个过程还是相当漫长的，我焊接512个灯珠用了两个下午，底板焊接和接

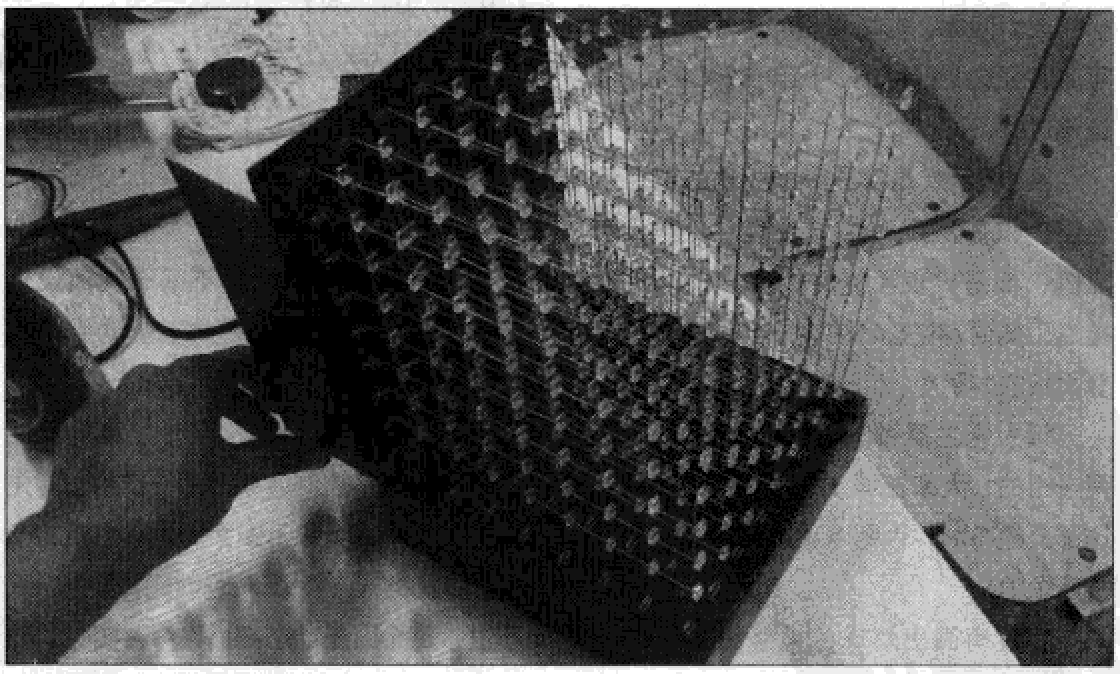


图7 初装完成

线用了3个下午。如此算来，即使是“老老实实”地焊接，也还是需要一周左右的时间，希望喜欢DIY的朋友们要有耐心，这个过程肯定是枯燥乏味的，但成功的喜悦也是难以言喻的。

驱动电路

驱动电路的设计其实是仁者见仁，智者见智了。根据原理图，16个IC芯片布局想必大家都有自己的想法，如果读者以前见过我制作的LED金字塔，可以拿来作为参考。在这里我想说，如果用的是万能板，那么用废弃引脚做跳线来并联所有输入是非常快捷有效的方法，而且可以大大减少工作量。

总装和美化

这些工作都完成后，就开始把每个面的灯珠组装上去了，这个过程没什么难度。如果后期发现有坏点现象，拆卸也很方便，进行补焊就可以了。然后就是根据原理图把后面的总线连接到74LS245的输出上，每个面64根线，64个输出与之对应。初装好后，如图7所示。

初装完成后，软件调试正常的话，就可以进行美化了。把线都整理好，用热熔胶固定住，再围上护板把电路遮挡起来。

原理分析

先来看看原理图。图8所示为底板及其驱动示意图，也就是实物的底板及其驱动电路的原理。大家看到的那些发光二极管代表了共阳极接点，但并不是真正的二极管点阵，之所以这样画是因为我在Proteus软件里找不到更好的表达方式了。希望大家切记，那不是真的灯珠，而是底面的共阳极接点（共有64个，每个面8个阳极、8个阴极）。

至于单片机，我这次用的是STC12C5A60S2（见图10），并非因为89C52速度不行，而是储存空间不够大；我手里60KB的单片机只有这么一块，所以就用上了。大家不要担心普通51单片机的能力问题，非增强型的单片机是完全可以胜任这个程序的，我亲自测试过，保证通过。

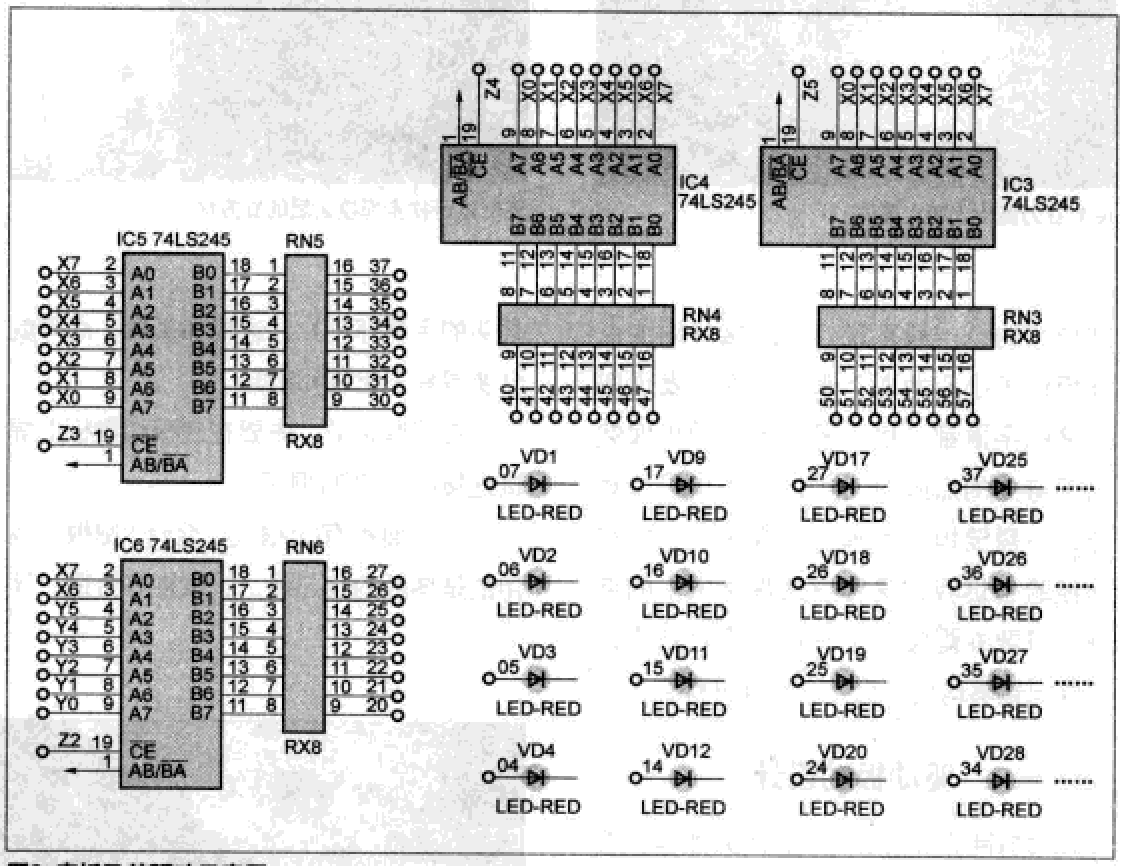


图8 底板及其驱动示意图

图9所示就是侧面板和驱动的电路示意图，和底板图一样，二极管并不是代表点阵，而是代表了侧面板的64个共阴极接点，侧面74LS245的输出全部连接的是侧面板的共阴极。

请大家注意图8和图9的19脚，是两两一组的，大家在焊接的时候也要注意到这部分的布局，否则以后组装的时候还是很麻烦的。

我没有画出灯珠的电路图，这部分其实就是8个独立的8×8点阵，我强调独立是因为这次的设计是不同于其他设计的。下面，我就详细说一下驱动原理和设计思路。

虽然原理上和大家平时接触的可能不一样，但是控制方案都是一样的，即先选中第一个面，显示图案后再选中第二个面。以此类推，类似于8位数码管控制，只不过，每个面是动态扫描程序，实际的程序代码会比控制8位数码管的复杂许多。

我最开始看到的原理图是一位美国网友发布的资料，本来我也想遵循他的设计思路，即只用8个驱动IC，每个面的选通用三极管。这样确实节约了IC和硬件，但在编程上就不那么简单了。因为国内大多数初学者都是用51单片机控制，即便是用C语言编写立方体的控制程序，也是需要比较复杂的算法的，我不想让程序作为单片机爱好者的瓶颈。下面，就根据我个

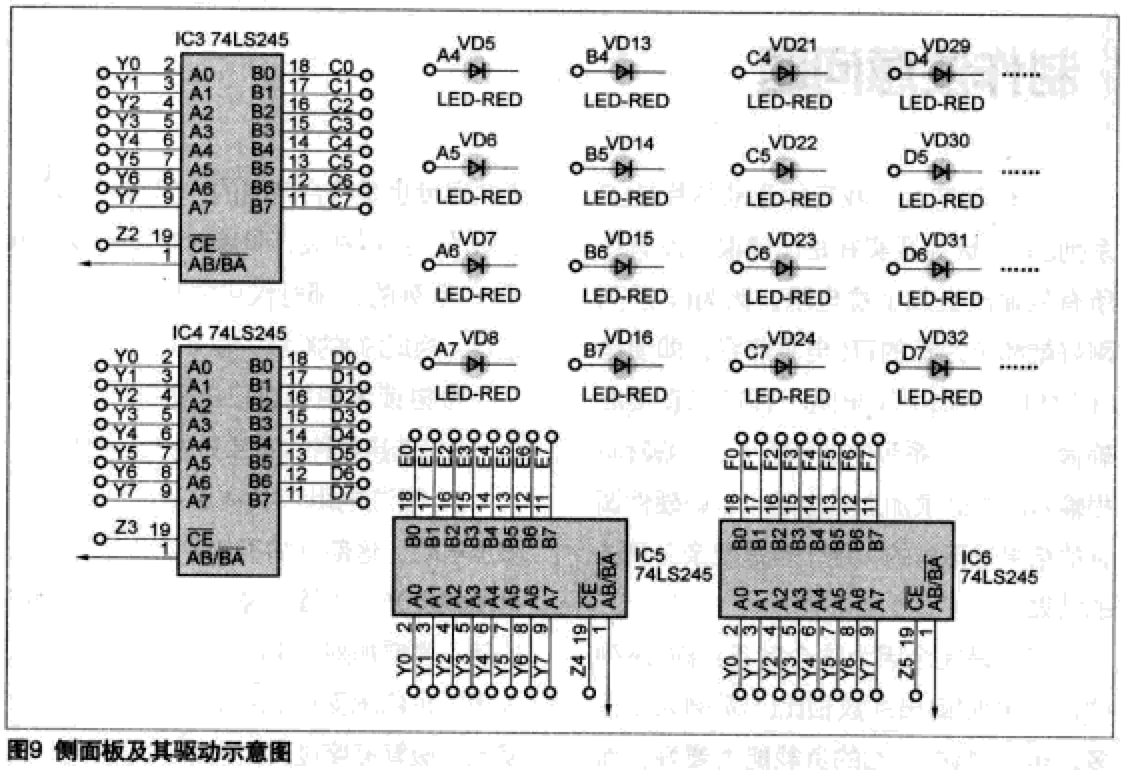


图9 侧面板及其驱动示意图

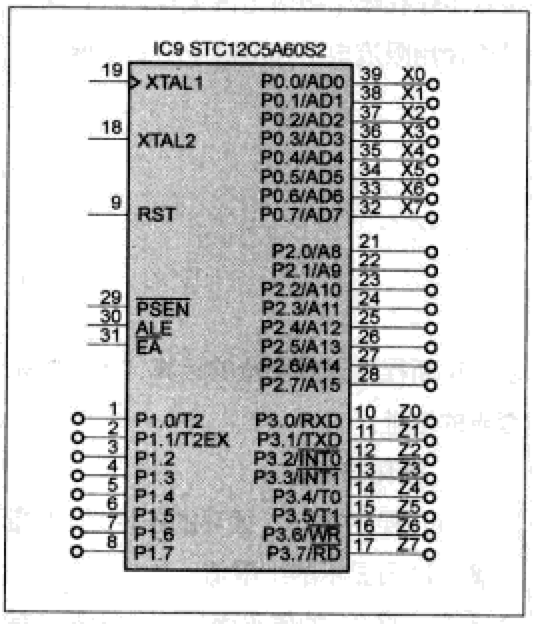


图10 单片机接口示意图

人的理解，说一下我为何要做这种设计。

立方体作为一个立体结构，动画的动作效果是非常多的，为了使编程者在动画控制程序上操作更为简单，就选用了这种全驱动的方式。我们都知道，要想设计每一帧动画，就要先建立一个三维坐标系，即人为规定*X*、*Y*、*Z*轴，这样编辑动画的时候就可以有条不紊了。但要想做出更好的动画效果，三维坐标轴是不能固定的。举例来说，当你做一个图案由前向后移动的时候，你事先定义了一个三维坐标系，当再想让一组画面由上到下移动时，你就会发现，用刚刚定义的三维坐标系来设计新的运动方式就会很麻烦。因为动画动作的参考面变化了，但是坐标系却没有变化。并非固定的三维坐标系不能用，而是很麻烦，至少，根据我对美国网友资料的理解，他的设计在硬件上只能遵循固定的三维坐标系编辑方式。为了弥补这一不足，他做了上位机软件来编辑动画，当然，仅有上位机软件是远远不够的，还需要在控制程序上有好的算法。说到算法，我也算是个初学者，没什么心得，为了弥补个人的不足，就在硬件上做了改进。这样的驱动方式好处是，三维坐标系可以根据动画的动作方式不同而做改变，比如单片机的P1的输出，既可以是*X*轴，也可以是*Y*轴，还可以是*Z*轴。这些坐标轴的切换可以通过子程序、指针或者仅仅通过变量赋值就可以改变。汇编程序如右侧所示。

这样，不管是C语言还是汇编语言，通过3个子程序，就可以简单地切换三维坐标系的轴切换。变量*x*1、*y*1、*z*1、*x*2、*y*2、*z*2、*x*3、*y*3、*z*3是中间变量，不一定是直接查表所给的数值，最好作为查表变量与输出端口的桥接，3个子程序代表了

程序

```
Outputx  equ 30H
Outputy  equ 31H
Outputz  equ 32H
定义X、 Y、 Z轴输出寄存器，用于直接给单片机输出赋值
X1   equ   33H
Y1   equ   34H
Z1   equ   35H
；定义第1三维坐标系寄存器
X2   equ   36H
Y2   equ   37H
Z2   equ   38H
；定义第2三维坐标系寄存器
X3   equ   39H
Y3   equ   3aH
Z3   equ   3bH
；定义第3三维坐标系寄存器
……
Play1:
mov  outputx,X1
mov  outputy,Y1
mov  outputz,Z1
ret
Play2:
mov  outputx,X2
mov  outputy,Y2
mov  outputz,Z2
ret
Play3:
mov  outputx,X3
mov  outputy,Y3
mov  outputz,Z3
ret
c语言实例程序：
void  output1( )
{
P1=x1
P2=y1
P3=z1
}
void  output2( )
{
P1=x2
P2=y2
P3=z2
}
void  output3( )
{
P1=x3
P2=y3
P3=z3
}
```

坐标系的3种情况，作为六面体来说，就只有这3种情况。

这样，调用不同的子程序，就可以把坐标系切换到不同的单片机输出端口上去，而以往的设计是需要比较复杂的算法或者上位机弥补的。

当然，对立体几何很有心得的人可以不借助程序，仅利用大脑的想象就可以在固定坐标系里设计动画，不过，这种人是极少数的。或许，通过这一点，立方体在不久的将来可以应用到几何教学中去，锻炼人的立体感。

虽然这次程序我没有设计出坐标轴的切换程序，但就原理来说，只要明白立方体的控制方案，这一点并不难实现。如果对动画效果要求不高，可以跳过这部分。

制作注意问题

1. 驱动芯片：我用的驱动芯片是LS系列245，因为我实在是比较懒，没有在所有的输出上加上拉电阻。因为LS系列刚好就和单片机的TTL电平兼容，即便是P0端口，不加上拉电阻一样可以直接准确输出。可HC系列的就不行了，19脚和8根输入脚都必须加上拉电阻，否则硬件调试的结果是不对的，这个也是我亲自测试的结果。

但不是完全因为这个就不选HC系列的，HC的IC扇出系数相比LS系列大了很多，也就是说，HC的负载能力要好，而且功耗低。从两种IC的发热上来说，我是深有体会的，HC系列的做驱动时，芯片发热不明显，但LS的就明显发热，虽然发热温度也是符合范围的，但感觉还是不舒服的，所以在设计骨牌时钟时，我就用了HC系列的。那时候用的都是大功率二极管，换成HC的IC后，发热明显降低。

希望读者根据自己的实际情况选用IC，不管选用哪种，都要做好相应的处理。

2. 限流电阻：我在原理图上都画了限流电阻，这部分加不加要看你选用什么材质的发光二极管。经过测试，我这次用的就不需要加限流电阻，但并不保证别人选用的也能承受住IC的输出电流，而导致发光二极管亮度过亮。大家买来的发光二极管一定要做好电流测试，看你的发光二极管工作在哪个电流范围最稳定，再决定是否使用限流电阻和限流电阻的阻值。

编程建议

本人能力有限，不能再给出C语言程序。不过，根据我对C语言的理解，给大家提出一点C语言编程的建议。

1. 初始化部分。主要是设置对应的中断、定时工作方式，与汇编语言是完全一样的。

2. 显示部分。

(1) 把立方体看作8位数码管，每个面即为一位数码管。

(2) 每个面的显示原理是和8×8点阵是完全一样的，保证这段程序正确的，可以直接调用。

(3) 查表的方式是自0起递增的，每次加1，每个画面查表64次，查表的上线为65536/64。当然，实际的情况是要小于65536的，控制程序的代码也会占用ROM空间，就会导致画面次数减少。所以，要想在有限的空间内显示更多的画面，就得尽量把程序写得简短。当然了，有的朋友会选用更大容量的单片机，查表的上限自然会增加。

注意：C语言可以直接定义16位变量，汇编语言在这方面是比较麻烦的，但好处是我可以调试程序来直接计算我的程序可以写到多少上限。C语言的方法我就不知道了，但肯定是可以通过调试计算出来的。

3. 中断部分。为了达到动画效果的切换时间可准确调节，画面的切换用中断方式。建议大家像我这样，把时间切换通过一个变量来表达，这样每次只需修改一个变量，就可以设置动画的速度了。每次发送中断后，查表的变量就加64（i=i+64），然后返回显示程序继续显示，中断程序只做变量的计算，改变的是查表的地址。

4. 循环部分。

(1) 程序循环。循环的条件是i变量不满足动画显示的上限值。比如你做了8个画面，那么i的值不满足8×64时，就继续显示；满足，就清零重新开始。

(2) 显示循环。

这个比较重要，主题的显示程序，应该是一个死循环，一直在显示一个画面，只有中断产生时，进入到中断程序，改变查表的变量，返回现实程序，才切换一次动画。8个画面都显示后，注意修正变量，使其在中断不发生时，能在一个画面停留。不管是查表的变量还是Z轴、Y轴的控制变量，都要进行初始化，因为显示程序与中断程序是完全独立的。

■ 本制作的相关程序及原理图可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

本页套件不仅适合爱好者自制，还非常适合各类学校电子实验室的师生作为制作项目用。
欢迎各校师生团购，咨询热线：010-67134361。

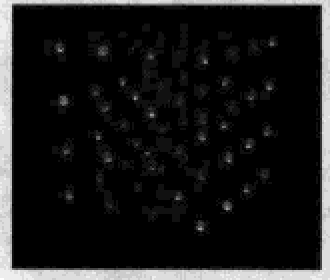
套件KITS

光立方套件

CUBE4彩色光立方套件

429元/套+15元（邮费）

特点:创新支架结构，灵感源于自然。声光感应，随音乐切换动画效果。六面全透明结构，18位全色彩渐变，千种动画与转场组合。带给您科技与艺术浑然一体的震撼。套件包括制作所需要的PCB及元器件，有机玻璃外壳，电源及电源线。易损元器件都会给出余量，制作本套件需要有一定的焊接能力。

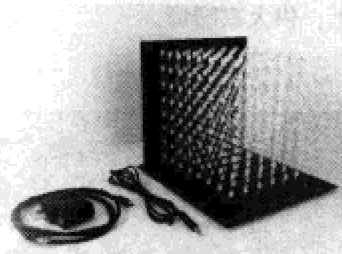


制作方法详见《无线电》2012年第9期杂志

CUBE8光立方套件

430元/套+15元（邮费）

- 8×8×8LED阵列3D光立方体显示器。
- 黑色镜面PCB、全镀金焊盘和LOGO，高端品质。
- 高亮蓝色雾面LED灯，达到光立方极佳视觉效果。
- 连贯图形显示效果，浑然一体，一气呵成。
- 混合式触摸电源和模式按键，操作更稳定。
- 电源具有常开、常关、光线自动控制方式。
- 显示模块有快速、中速、慢速3挡设置。
- 4挡亮度的夜灯模式，可营造你的室内气氛。
- 2种音频显示模式，可随音频同步显示。
- “精简I²C”接口，全开放式用户自定义操控。
- 创新设计的LED阵列制作模板，让LED阵列制作简单快速。



制作方法详见《无线电》2011年第7期杂志

DB1开发套件

单片机电子积木DB1开发套件

特点：电子积木DB1可以简单、快速地组建电子DIY成品。DB1是完全免焊接的面包板插接模块，其内置高性能单片机，提供丰富的接口及应用例程，使用DB1可以真正完成能实用的制作，而不仅仅是面包板上的实验。

DB1基础开发套件：包括DB1主模块、USB下载模块、电源线连接线及基础元器件包。可在此基础上扩展您现有的功能组件。适合已经购买单片机周边功能组件的朋友。

78元/套+15元（邮费）

DB1教学开发套件：包括DB1基础开发套件和45种常用功能组件，提供大量制作实例和教学视频。可直接完成各种基础DB1的电子DIY作品。适合零基础的单片机爱好者。

498元/套+15元（邮费）

使用方法详见《无线电》2012年第10期开始的连载文章

单片机套件

《爱上单片机（第2版）》配书套件

135元/套+15元运费

特点：许多朋友通过阅读《爱上单片机》开始入门单片机。但苦于书中元器件难以齐全。现在我们将书中入门部分的元器件整理成套件。套件可完成《爱上单片机（第2版）》中68页（第一章第7节）之前的制作和实验。购买本套件可赠送特制资料光盘，随套件一并发货。其中收录最新的视频、文章和源程序。可帮助您更好地学习单片机。

机器人套件

SHR-8S人形机器人套件（成品）

3100元+40元（邮费）

（普通快递无法到达的偏远地区请电话咨询运费）

特点：机器人高360mm，重量约1.5kg(含电池)，总共具有17个自由度，其中头部1个自由度，双手6个自由度，双脚10个自由度。通过RS232C串口与电脑连接后，可在PC上用鼠标操作，参照3D仿真画面来设置动作。控制板具有2512KB的动作程序存储器，可存储25组动作，每组最多可记忆80个动作。附带具有数种动作实例的正版光盘，可立即测试运作。本机所附的锂聚合物电池可让机器人完全发挥其功能，电池可使用1.2~1.5小时，充电约50分钟。套件中附带遥控器，也可连接国际标准航模遥控器。

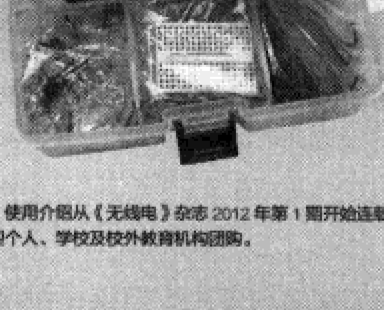
使用方法详见《无线电》2012年第8期杂志

电子时钟套件

“面包板入门电子制作”盒装套件

148元/套+15元（邮费）

特点：以六宫格元件盒包装，内含：面包板、电池与电池盒、插接面包板专用线、LED灯、数码管、扬声器、电阻、磁铁、电容、蜂鸣器、电位器、话筒、干簧管、二极管、光敏电阻、微动开关等。可在面包板上完成数十个基础电路的搭建和设计，并配有不断更新的《无线电》杂志相关文章和高清教学视频，适合单片机爱好者的电路基础入门及中小学生的电子技术兴趣入门。

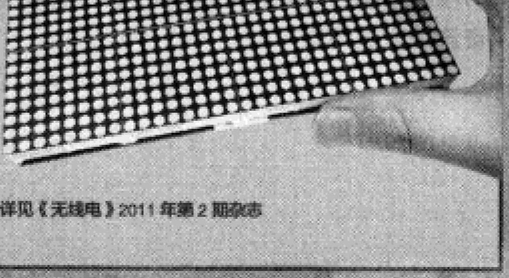


使用介绍从《无线电》杂志2012年第1期开始连载。
欢迎个人、学校及校外教育机构团购。

Mini3216电子时钟套件

198元/套+15元（邮费）

特点：超薄设计，整机厚度只有一片PCB加上LED屏的厚度；单片机直接驱动所有LED屏，电路制作简单，无需驱动芯片；公历及农历的重要节日提醒功能；4键全电容触摸式按键；32×16LED点阵屏显示，全中文界面；DYS8100高精准时钟芯片，一年内误差小于1分钟；早8点到晚8点整点报时功能；流动、渐变亮度式显示切换，精致UI设计；亮黑色镀金电路板，长久使用不褪色；超薄多功能连接排线，如无线般美观。



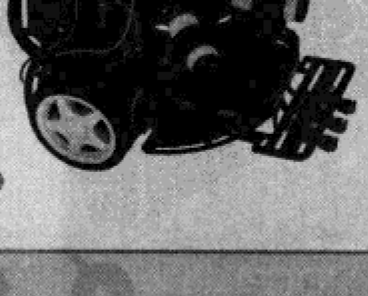
制作方法详见《无线电》2011年第2期杂志

机器小车套件

3PA机器小车套件

639元/套+15元（邮费）

特点：3PA机器小车采用2轮差速驱动，转弯半径趋近于零，机身采用高强度铝合金材料，高速电机加优质橡胶轮，运动灵活快速，适合在室内的平坦路面行进。小车使用Arduino控制器，编程简单。车身有很多安装孔，可以加装传感器、舵机、摄像头等，实现监控、寻线、避障等功能，可以用于机器人教学实践，也可用于机器车比赛。

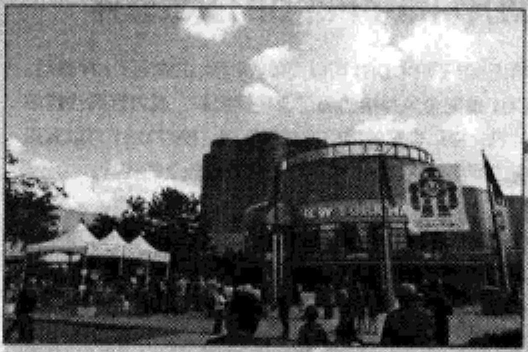


制作方法详见《无线电》2010年第11期杂志

2012纽约Maker Faire新鲜作品随我看

◇孙德庆

Maker Faire是由《Make》杂志组织的DIY爱好者大会，内容涉及机械、电子、无线电、计算机、手工艺等，各种稀奇古怪的作品都包含其中。本次Maker Faire是第六届，在纽约市皇后区的纽约科学馆举行，为期两天。只要秉持DIY精神并愿意分享自己的制作，均可以报名参与。接下来就请随笔者一起来看看本次大会上的新鲜作品吧！

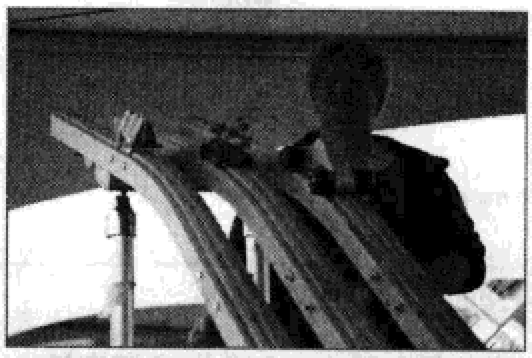


这就是本次Maker Faire的入口，参观者上至耄耋老者，下至黄口小儿，络绎不绝。

杯子蛋糕算是纽约最常见的甜点了，这位大叔就把自己打扮成了杯子蛋糕状。更令人称奇的是，这颗硕大的杯子蛋糕会自行移动，一路上回头率甚高。

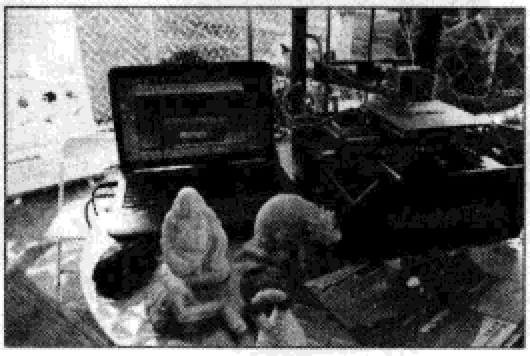
Arduino作为重要的DIY电子部件同样出现在展会中。约一年前，Atmel终于以官方的身份支持了Arduino的研制，Arduino的产品线获得了很大的扩张。板载一颗32位Cortex-M3 ARM处理器的Arduino Due在大家的期盼下，于2012年10月22日发行，售价为49美元（约合308元人民币），是目前Uno版本的两倍有余。预计新Arduino将极大缓解片上资源紧张的问题。

Nerdy Derby是蒂诗艺术学院互动电信研究所官方组织的活动。这是一个无动力小车的竞速项目，参赛选手可利用自己喜欢的任意材料现场打造自己的小车，每辆小车都使用主办方提供的RFID标签进行识别，并在数据库中登录自己的信息。每3辆小车为一组进行比赛，用Arduino和红外线进行计时。排名前十位的选手信息和小车照片会实时显示在大屏幕上，供大家瞻仰。



小车由电磁铁统一控制，同时起跑。照片中的人物是Tom Igoe教授，Arduino核心成员之一。

参加比赛的小朋友在制作区的轨道上试车。

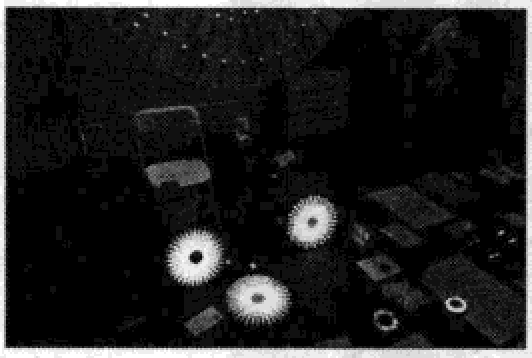


此次亦有国内厂商展出3D打印机，维示泰克展出了他们的小型3D桌面打印机。中国风十足的展示模型，精度亦十分不俗。

Boxes是帕森设计学院的学生设计的可扩展电子纸盒，通过粘贴铜箔胶带制作电路，将电子和折纸工艺无缝衔接在一起。

这是纽约大学理工学院的研究生主持的教育项目，使用3D打印技术，为中小学课程制造教具，比如打印凝胶电泳所需的器材，或者是在课堂上实时打印学生的建筑模型设计。

3D打印依然是这次展出的热门方向，大量公司或个人都展出了自己的产品。这台是Makerbot公司新推出的Replicator 2桌上打印机，使用可降解的PLA（聚乳酸）进行打印，并可实现100μm级的精度。



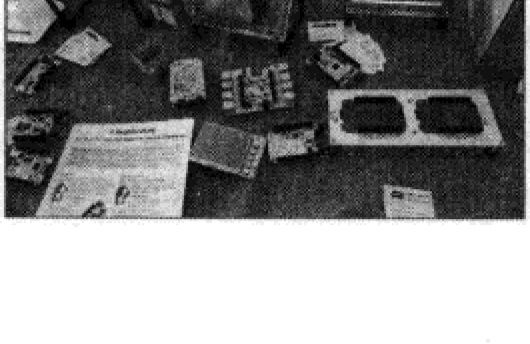
LED是制作者最为青睐的制作材料，驱动方法简单，视觉效果又好。这些LED灯盘上装有全彩LED，可以跟随着音乐的节奏改变颜色和花式。用户也可以自己改变程序来实现自己想要的花色。

图形计算器在美国和加拿大广泛应用于数学教育，国内部分中学也有引进。这些hacker利用图形计算器可安装自制程序的功能，通过自定义软件和硬件，将原本只能双机互联的数据线，拓展到支持网络连接的程度。

Digi公司的XBee模块以其高度的易用性而广受DIY用户青睐。这种模块支持标准的Zigbee协议进行通信，而且部分型号板载飞思卡尔单片机，可以独立执行程序，可在无需外部控制器的情况下实现互动作品。

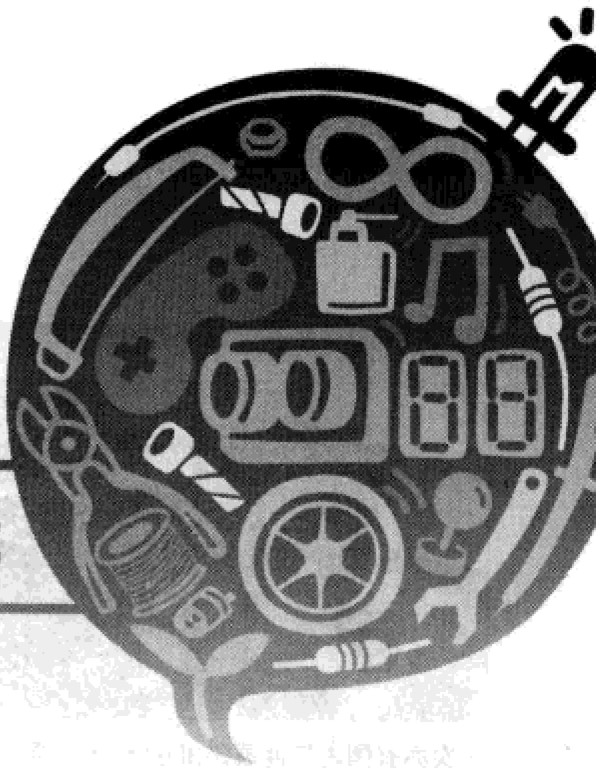
Xprotolab是一款带有OLED屏的小板，通过烧入不同的程序，这块小板可以实现示波器、信号发生器等不同的功能。由于这块小板被设计为DIP封装，用户可以方便地在面包板上进行试验。

BeagleBone在国内论坛里的昵称是“狗板”，板载1GHz ARM处理器和512MB内存，强劲的性能支持用户在上面跑Linux系统并进行图形渲染、机器视觉等应用，搭配扩展板亦可实现DVI输出等功能。



2012 Shanghai Maker Carnival

上海创客嘉年华



主办方：DFRobot 新车间

无处不“创客”，随处即“空间”——记2012上海创客嘉年华

◇林尧 徐骁雯

2012年11月4日至11月6日，由DFRobot和新车间共同主办的上海创客嘉年华，在风景如画的上海世纪公园热闹上演，其华丽落幕也为美丽的世纪公园湖畔留下了属于创客们浓墨重彩的一笔。笔者有幸亲临现场，欣赏各路达人的奇思妙想。创客们借由此次嘉年华的平台，不断地向到场的每一位参观者传播他们创客理念，正是“无处不创客，随处即空间”的最好体现。

在这里，无论来自哪个行业，做什么工作，每一个创客都像是一个充满好奇心的孩子，向每一位参观者展示着他们精心成就的创意，有为生活带来美好的小小发明，有“无关技术，纯粹创意”的思维火花，也有好玩、好用的“超级大玩具”。就像新车间的创客所说的那样，这里就是对生活有着无限好奇心的创客们自己动手实践的地方，无关商业。来到嘉年华的每一位参观者也都像童心未泯的大孩子，有的甚至就是带着自己的小孩子一同前来的，他们驻足于一个个展示桌前，认真地聆听着创客们的讲解，时不时地参与到与“大玩具”的互动当中，其乐融融。

在这个嘉年华里，无论“大孩子”还是“小孩子”，都在这个属于创客的空间里尽兴淋漓地玩了一场。这是一个“专属空间”，通行的唯一身份就是“创客”。同时，它又是一个对每一个人开放的公共空间，唯一需要具备的条件只有“创客之心”。无论你是朝九晚五的上班族，还是社会角色里的一颗小小螺丝钉，无论你是白发苍苍的老人，还是跌跌撞撞的儿童，只要有一颗充满好奇的心，这里便是你的“专属空间”。

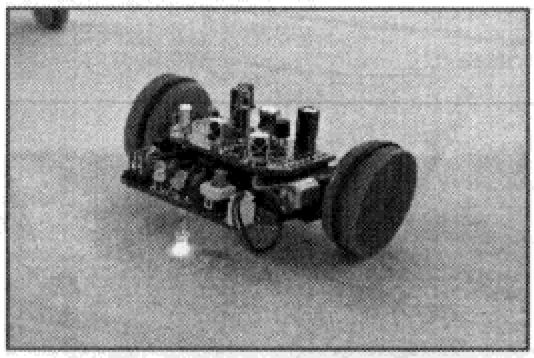
接下来，让我们跟着图片一起回到上海创客嘉年华的现场，一起感受一群“大孩子与小孩子的狂欢”。

新车间——每个人都是潜在的创客

上海的创客空间——新车间为我们带来的作品都是对于“创意”的最好诠释，无论是“群体作战机器人”、“mini循线小车”，还是“木有用的盒子”、“会发光的画”、“鱼菜共生”，或是“简易LED爱心”等，都是新车间的创客们对于生活充满热爱的写照。

“群体作战机器人”与“mini循线小车”都是动手派的力作，小巧灵活的机器人看似简单、常见，却是创客理念的最好表达。新车间为每一个梦想着能做出属于自己的机器人的人提供了最为直接的帮助，没有复杂的架构，没有高端的芯片，仅仅是一些简单的零件所组成的小套件，一切的乐趣都来自于“每个人都可以动手做的机器人”。小朋友们对此爱不释手，或许就是因为这些简易的小小机器人，相比平时父母花大价钱买来的玩具，多了一分“我也可以做出来”的味道。新车间也在现场向对这些小小机器人感兴趣的小朋友们灌输着创客的理念，向他们发出诚挚的邀请，呼吁他们来做新一代的“小小创客”。

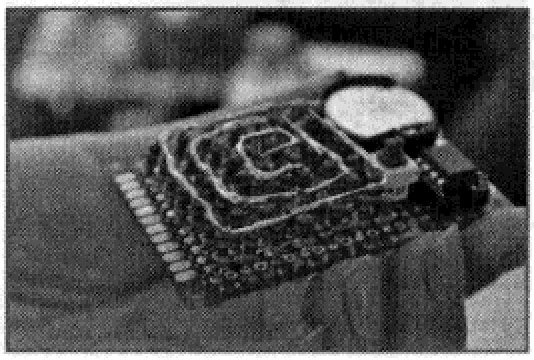
“木有用的盒子”是新车间另外一个瞩目度



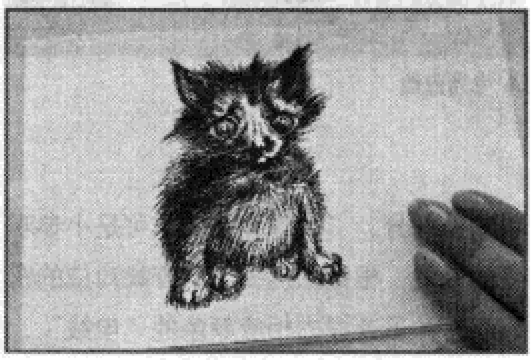
▲ 群体作战机器人

▲ mini循线小车

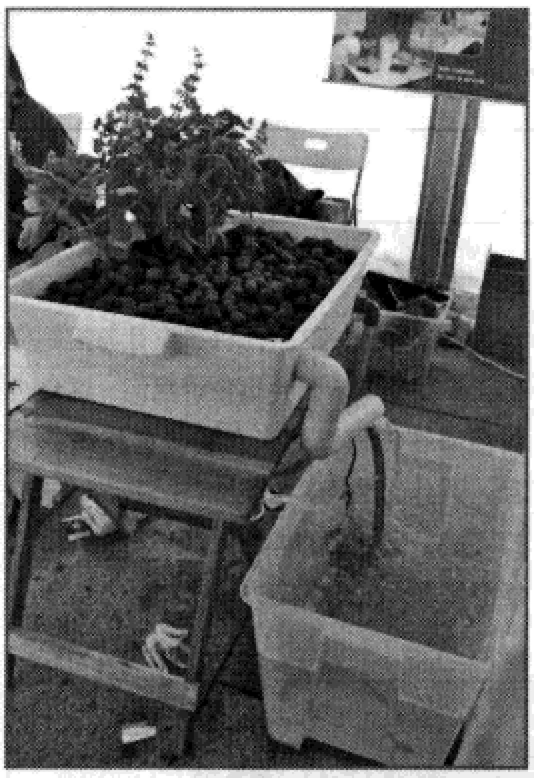
▲ 木有用的盒子



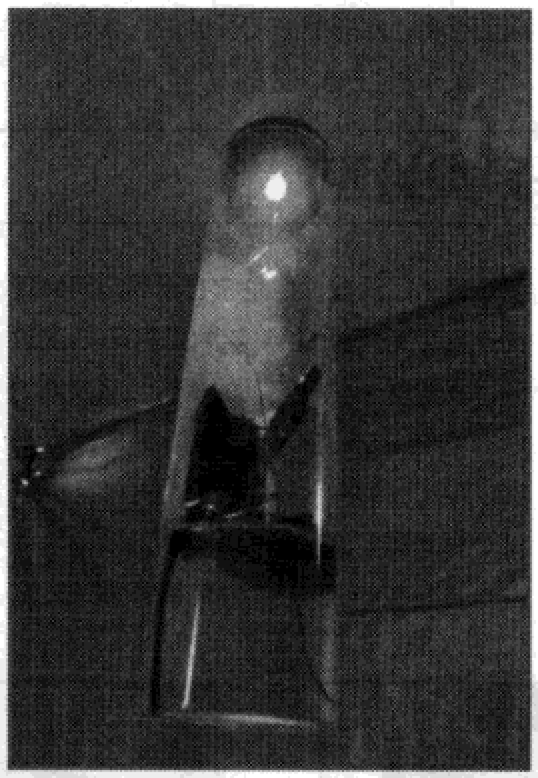
▲ 发光的爱心



▲ 新车间会员为收养的流浪小猫画的像



▲ 鱼菜共生



▲ 植物音乐玻璃瓶

极高的作品，新车间的创客们将网络上的一个创意，通过他们的脑袋和手转化为了现实，“木有用的机器之破盒子，这是一个非著名、最无功用的机器。我们从网络上看到了这个想法并让它在现实中成为了可能。”虽然看似普通，可是当你拨动开关后，木质盒子内部的机械杠杆结构会将盖子推开，又立即合上，或许这个“木有用的盒子”之所以能吸引众多的眼球，就是因为它“木有用”。这个时代有用的东西太多，太多的发明都带着强烈的企图，不断有创造发明在优化、美化我们的生活，“有用”似乎已经在我们的概念里与“价值”等同了起来，这个“木有用”的盒子却为我们的生活带来了一丝喜感，让人不禁莞尔一笑之后，打心底喜欢上这个小小的创意。

另外，一些小小的“爱心LED作品”也带给我们大大的感动。用几十个LED发光管代替点阵，直接用导线联通，只需要一块小小的芯片和简单的程序，就可以展现出一颗活力四射的心脏。

还有一个不起眼的作品，安安静静地躺在展桌上，是一幅简单的钢笔画，画面上有一只可爱的小猫。起初纯粹是被它的可爱吸引，但是创客的介绍，却让这幅简单的钢笔画有了更加鲜活的生命力。那是一只被创客们收留的流浪猫，自此，创客们的梦想天地也自然而然地成为了它的家，他们也以这只流浪猫为原型创作这样一个作品。作品虽然只是将钢笔画部分挖空，然后用简单的金属线连接电源，通过LED让小猫的眼睛发光，却让我们看到了创客们的另一面，这就是实实在在的“发光的爱心”。

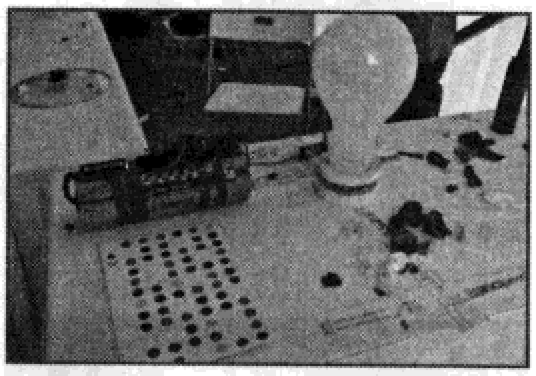
作品“鱼菜共生”展示了一缸小金鱼和盆栽如何共用活水的系统，水不断地从鱼缸中被泵入泥土，随后又循环回去，动植物就这样相互依存。“迷你互动小世界”则选择将环保理念融入音乐中，是一个体现微弱关爱的项目。将细小的植物放置在透明玻璃管内，通过电线挂在空中。当游客握住瓶子时，就会点亮瓶中的彩灯，同时瓶子会唱起歌来。在这里，我们看到生态环保与创新、创意有机地结合起来，好玩好看的同时，也体现出了创客们生态环保的理念。

DFRobot——玩的就是创意

如果说新车间的特点是“灵动”，那么DFRobot的作品就可以用“精密”来形容了。不过，再精密的系统，若是没有奇妙的想法，也绝不会显得如此有趣。

“Lightar看似是把吉他，却用灯光的韵律诠释音乐，Lightar 虽然没有琴弦，却能用极简的操作演奏节拍。”电光吉他其实是一只披着吉他皮的光电魔盒，依靠着众多LED，它能够根据音乐的频率和音调改变显示的图案，也无怪乎能体验它的“黑色工作室”总是人气爆棚，吸引着众多游客驻足。

▲ 电光吉他


▲ 拆炸弹游戏

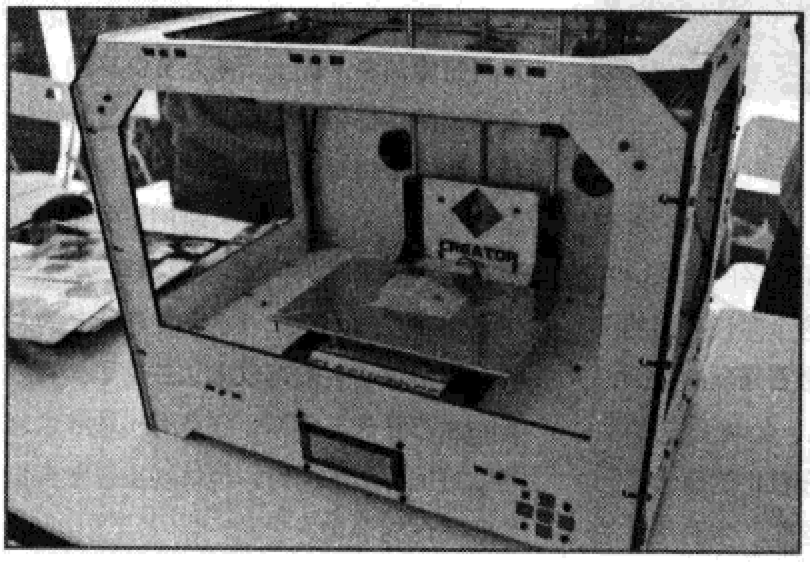
自进入创客嘉年华展区伊始，笔者就数次被“嘭啪”的声响惊吓，总以为展区存在什么安全隐患。等到差不多走完整个展区，临近出口，才发现这原来也是嘉年华的一部分。“拆炸弹游戏”可是小参观者的最爱，根据颜色提示，查找对应的密码表，并迅速拔去相应颜色的“电线”，屏幕上就会显示“任务完成”的字样。若是一不小心没看清提示，或是没有找对相应的答案，那等着你的可就是气球的突然爆炸了。如此简单的操作模式，又伴随强烈的互动性，让参观者们在紧张刺激的游戏中感受到小小发明带来的乐趣，过了一回“拆弹专家”的瘾。谁说好玩的玩具一定要花大价钱去买？在创客的世界里，什么不可以DIY？

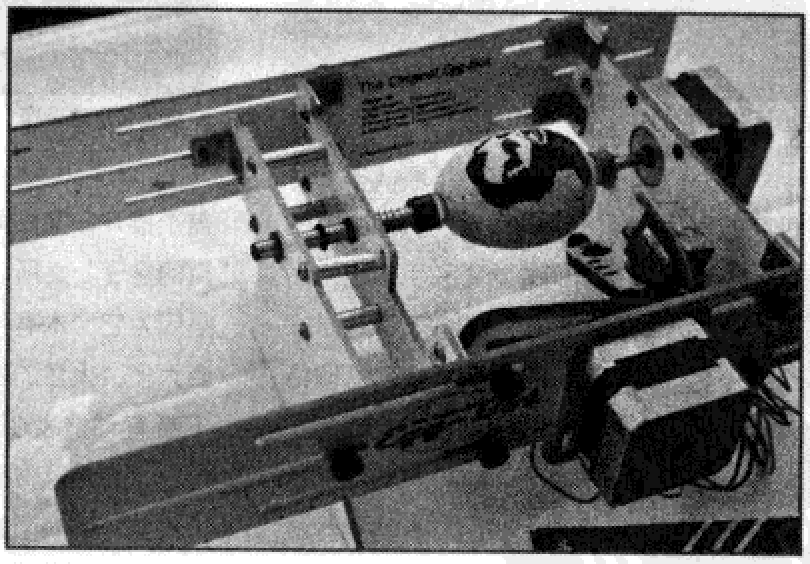
Seeed Studio——另类绘画

Seeed Studio给我们的印象总是和绘画脱离不了关系，他们时而在色彩缤纷的塑料上勾勒各种可爱的玩具，时而在轻薄脆弱的蛋壳上画上朋克主义的人物肖像，所以，我们也就看到了现在风靡一时的3D打印机和新奇的画蛋机。

虽然不知道是谁第一个将3D打印的梦想变为了现实，但是它在世界范围疯狂铺开已经是不争的事实。3D打印彻底改变了我们对于“打印”的认识，从二维的世界瞬间立体了起来。相信将来，拥有3D打印机的你，也能够设计出自己的玩具，将脑海中的想象变成现实。

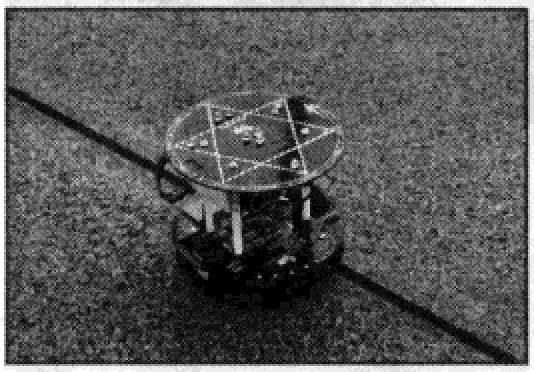
画蛋机与3D打印机有着异曲同工之妙，不同的是，创客们将目光聚焦到了脆弱的鸡蛋壳上，这就对机器设计与控制提出了更高的要求。会员告诉我们，这台机器能够在任何弧形光滑的表面作画，而且，画什么也可以通过软件确定。与3D打印机相比，它的体积更加小巧，却同样能够带来无限的创造力。


▲ 3D打印机

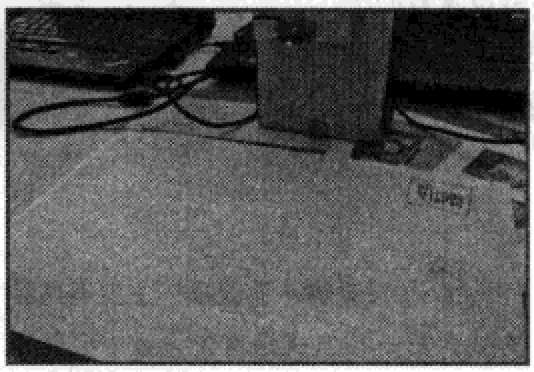

▲ 画蛋机

RoboPeak——科技以人为本

RoboPeak带来的机器人平台与投影键盘，让我们看到了技术流创客们化理论为实践的力量，以及未来发明愈加智能化和充满互动性的发展方向。跟踪机器人是一个软硬件相结合的系统，机器人的动作和走向完全由计算机软件控制，在生活中的用途相当广泛。而投影键盘则将我们在科幻影片中看到的在纸片上打字的体验变成了现实，而且精度极高，轻轻触碰纸片，计算机屏幕上便会迅速作出相应的反馈。



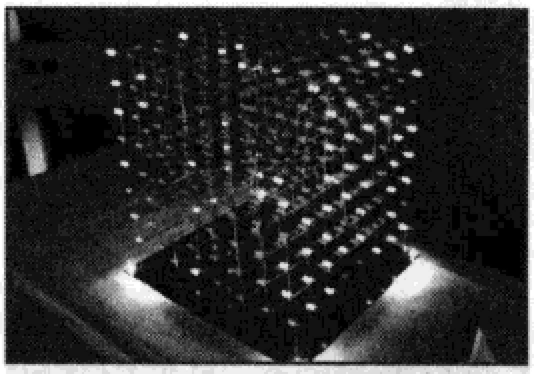
▲ 跟踪机器人



▲ 投影键盘

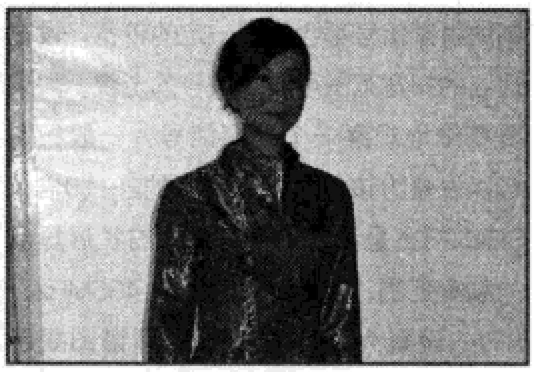
其他创客的作品

除了这些好看、好玩的作品外，在这个充满创意的小屋子里，创客们还带来了其他有趣的玩意儿。上海擎朗科技为我们带来的高仿真机器人，连眼珠、眼皮都会活动，以几近真人的一颦一笑吸引着众多参观者驻足。LED矩阵作品“Matrix”通过点亮不同位置的小灯，带来亦真亦幻的梦幻光影效果。从深圳远道而来的柴火创客空间的快速拨号电话能够预存数十个亲朋好友的电话，并以头像作为按键，对家中有老人的家庭极为适用。展区中央的寻光机器小车能够感应光线，并且随着光线方向的改变而改变运动的方向，不管是大人还是小孩，大家纷纷举起手中的手机，打开补光灯，玩得不亦乐乎。这是科技的力量，更是创意的力量。

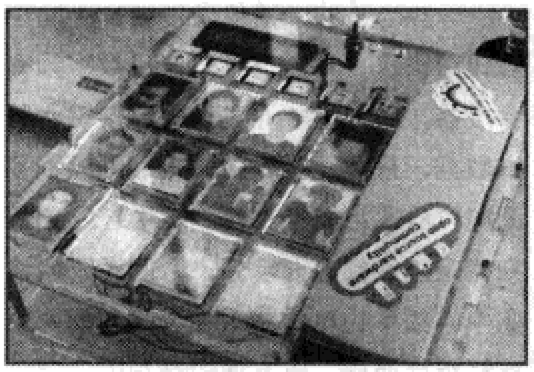


▲ Matrix

上海创客嘉年华举办期间，各家创客们也为参观者提供了一套套精美的套件。你可以从这些创客们倾尽心血设计的套件中，选择你所心动的小小发明，把它带回家，或者带到各个创客空间，自己动手实现一个小小创造。不需要太多专业知识，不需要任何专业背景，只要一颗想要自己动手的心，这里就是你的舞台。



▲ 仿真机器人



▲ 快速拨号电话

▶ 寻光机器人

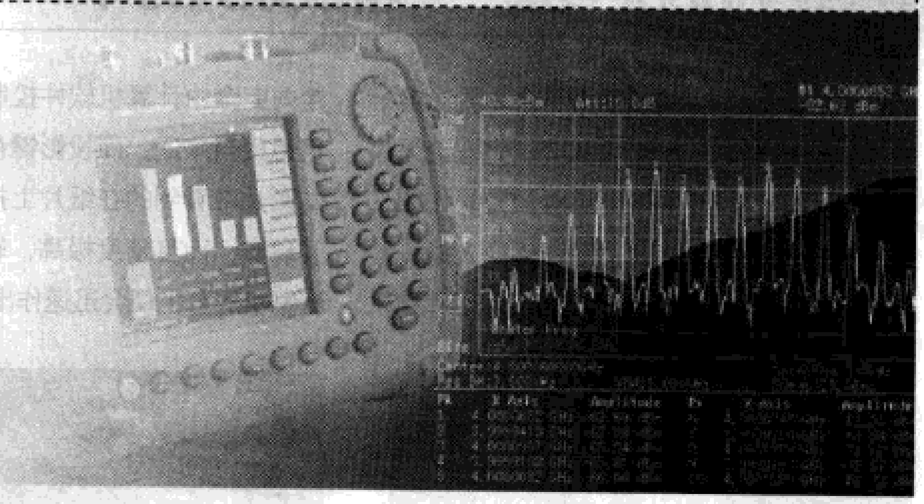
后记

此次上海创客嘉年华选择在上海世纪公园举办，与此同时，上海青年创意大展也在世纪公园举行，一时间，各路创客们，不分国籍，不论年龄，都来到这片属于他们的乐土。有在校的大学生，“吆喝”着自己亲手完成的创新与创意作品，也有上班族逃离开日常的繁琐公务，发散思维，共同探讨各自的发明。这天，是属于他们的节日，这里，是他们分享想法的平台。而游客们同样也有幸与创客们一同感受创意的力量。人的思维无限宽广，也许有一天，曾几何时，身为游客的你，也会摇身变成一名创客，分享自己的生活，分享各种奇思妙想，并用一双巧手，让想象更真实。上海创客嘉年华的举办，无疑为这座城市乃至我们国家的创新发展注入更多的活力与动力。我们很高兴创客空间越来越为人们所熟悉，我们也很欣慰地看到越来越多的人加入创客的行列，我们更相信，无限的创意会令我们的生活变得更加多姿多彩。

频谱分析仪ABC

◇杨法（BD4AAF）

基础操作很重要



频谱分析仪的基本操作并不复杂，但设置适当的参数往往要靠操作工程师的经验。适宜的工作参数设置有助于对信号的精准测量，不当的输入信号幅度或设置容易影响测试的准确性，甚至会出现假信号，影响测试的结果。

基本操作

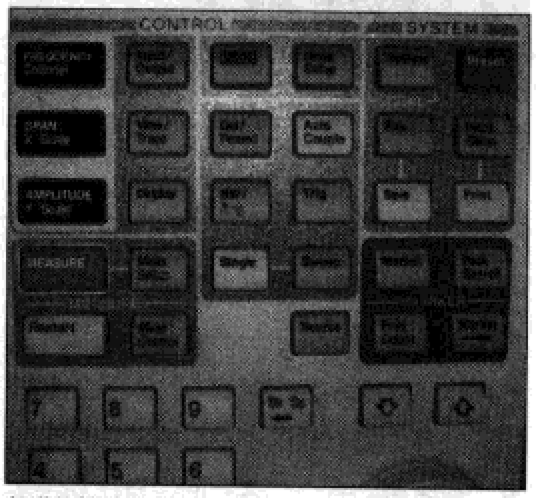
常规频谱分析仪主要通过曲线图来显示特定频率区间上信号幅度的状况，所以频谱仪的基本操作主要有频率区间的设置、分辨率带宽的设置和参考电平的设置。

1. 频率区间的设置

现代频谱仪频率区间的设置在频率设置项中进行，一般通过按频谱仪面板上Frequency按键进入设置项。主要有两种方式：第一种方式是首先设置中心频率Center frequency，然后设置扫宽SPAN范围。这种设定方式方便对已知特定频率的观察，即以设定频率为中心左右展开一定频率范围进行观察。实际应用中，带有调制的射频信号都会占据一定的带宽，设置适当的扫宽范围可展现信号的全貌。如果要精细地观察一个射频信号，一般扫宽可以设置为该信号占据带宽的2～10倍。SPAN扫宽是设定中心频率左右扩展显示的频率范围。例如中心频率为435MHz，SPAN设置为10MHz，那么频谱图显示435MHz周边正负5MHz范围内的频谱情况，即显示430～440MHz的频谱情况。“0 span”是一种特殊的应用，此时频谱仪的扫宽为0Hz，显示曲线图形相当于示波器的时域波形，可以看到射频信号的调制波形，通过调制波形可以判断信号的调制类型。

频率区间设置显示

第二种方式是分别设置频谱仪扫描的开始频率和终止频率，直接形成频谱扫描区间。这种设定方式方便对频率区间内信号的搜索。例如用户需要监视430MHz业余电台频段的频谱情况，只要直观地输入起始频率430MHz、终止频率440MHz，那么频谱仪就会显示出430～440MHz之间10MHz带宽的频谱图。上述两种频率区间的设置方式虽然不同，但显示频谱图的结果是一样的，主要是方便不同的应用和个人习惯。



频谱仪按键分布

一些老式的频谱仪硬件结构不同于现代频谱仪，其内部没有使用数字频率合成器，所以不能通过面板直接键入频率数据，只能通过旋转面板上的频率多圈电位器来定位中心频率，并结合Span扫宽来确定频谱显示频率区间。一般设定中心频率的电位器由粗调和细调两个旋钮组合而成，以方便较精细的设定。老式频谱仪中心频率的显示有专门的频率显示窗口或标尺指示。早期频谱仪的SPAN扫宽大多由波段开关选择，CRT显示管上每个刻度小格代表的频率宽度，单位是MHz/Div或KHz/Div，通常一个屏幕X水平轴均分为10个小格,后期的产品则改进为使用电子开关选择。

有很多初级用户往往喜欢设定较大的Span扫宽，以获得较大的频谱显示频率范围。他们以为这样可以获得更多的信息，但实际上这样的做法在大多数情况下并不恰当。首先，当频谱显示频率范围扩大，频谱图上显示单个信号的空间被压缩，很多信号的细节都无法显示。在大频率范围的频谱图上，很多窄带调制信号只有显示谱线的份了。其次，目前主流的超外差扫频型频谱仪在相同的分辨率带宽RBW下，设置扫描频率区间越宽，整个频谱图的刷新时间就会越慢，会明显影响频谱图的实时性。尤其是一些入门级的频谱仪，这种影响更为突出。在某些情况下，甚至会出现用户不能忍受的情况（扫描完一幅频谱图可能需要10s或更多的时间）。如果有的用户为了提高扫描速度，设置使用较大的RBW分辨率，会降低频谱图的精度，不利于一些窄带信号的测量。对于有经验的工程师，大频率范围的扫宽，搭配适当的RBW，用来初步发现信号的存在，然后针对感兴趣信号改用较小的扫宽和精细的RBW进行细致的测量、查看。

2. 分辨率带宽的设置

RBW分辨率带宽是频谱仪内部中频滤波器的带宽，正确设置RBW与信号带宽和幅度的测量以及显示有密切关系。较小的RBW将影响扫频型频谱仪频谱图的刷新率。RBW设置过大，仪器会将两个频率紧邻的信号作为一个信号来处理，较小的RBW可以用来区分两个相邻的信号，进行分别测量。实际使用中，RBW是根据实际信号的带宽和应用来设定。并不是所有的应用中，RBW带宽设置得越小越好，例如信号功率幅度测试就要求RBW设置等于或略大于信号实际带宽，很多专项测试都对RBW的设置有明确的要求。不同档次的频谱仪提供的最小RBW是不一样的。

除了RBW，还有VBW的设置。VBW是指视频带宽，其对测量的影响没有RBW大，较小的VBW可以使频谱曲线图看上去更为平滑，一般VBW设置可为RBW的1～1/100，如果你不在意频谱图的底噪，可以设置VBW=RBW。有时微小信号会被淹没在跳动的底噪中，使用较小的VBW和多次平均措施可以减小底噪对显示的影响，从而有利于小信号的显示。

3. 参考电平的设置

参考电平用于设置频谱仪内部信号幅度处理系统。通过调整参考电平，可使信号的频谱曲线等效地在Y轴方向上移动，使曲线理想地显示在可视窗口中。一般现代数字频谱仪上的AMPLITUDE按键就用来设定参考电平。在观察一个特定频率信号时，通常需要调节频谱仪参考电平，使信号频谱曲线幅度尽量接近满屏幕，这样有利于对信号频谱细节的观察。

总的来说，对于一台频谱仪，频率扫宽、RBW分辨率带宽、扫描速度（频谱图刷新率）是相互牵制的，操作者应按工作需要，平衡三者的关系。现代频谱仪大多具有自动设置功能，仪器会根据自身处理能力，在用户确定扫宽后，自动调整适当的RBW和扫描速度，以平衡频谱仪的处理性能。对于特殊应用，用户也可以对某些参数采用手动设定，以达到最佳工作状态。

信号输入要求

扫频型的频谱仪相当于一部接收机，

频谱输入端口的最大安全输入功率提示

对端口输入信号的幅度有一定的要求。一般在频谱输入端口都有最大安全输入功率的警告，进口频谱仪大多为30dBm相当于1W射频功率。大功率射频信号直接输入频谱仪很容易造成频谱仪内置衰减器、混频器损坏等一系列故障，典型表现为信号幅度测量失准或无法检测到信号，这也是频谱仪最常见的人为误操作故障。

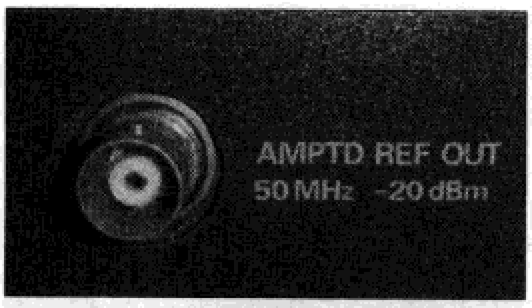
作为高档进口仪器，频谱仪衰减器组件维修、更换的费用是很高的。需要注意的是，面板端口上标注的最大安全输入功率，并不是频谱仪测量信号的理想幅度，只是频谱仪内置衰减器可以安全工作的最大输入功率极限。实际工作中，当频谱仪输入信号幅度过大（尽管还在安全输入范围内），容易引发频谱仪输入过载和混频器失真，对于一些复杂信号甚至还可能出现假信号干扰测量结果，特别是一些入门级的低端频谱仪，动态较小问题更为突出。所以，一般实验室的频谱仪都与各种外置衰减器搭档一起工作。

通常，实验室都会为频谱仪配上20～40dB的大功率衰减器和10～40dB的小功率衰减器。在测量精度要求不高的情况下，衰减器是可以串联使用的，衰减总量是各个衰减器标称衰减量简单的相加。衰减器的作用是削减信号的幅度，同时保持信号的其他特征。使用外置衰减器要注意衰减器的标称阻抗应与频谱仪端口阻抗一致，否则衰减器上标称的衰减量会有较大的误差。

依据一般经验，推荐入门级频谱仪输入信号在-30～-80dBm为佳（依照不同频谱仪特性会有不同），实际输入信号最好

TIPS

现代频谱仪内置有可编程组合的衰减器，但实际使用中，频谱仪如果使用内置衰减器，会使频谱仪的底噪抬高，影响测量小信号的能力，所以很多有经验的射频工程师都喜欢使用外置衰减器，而少用机内衰减器。



频谱仪BNC参考信号输出端口

不要超过0dBm。现代频谱仪内置有可编程组合的衰减器，但实际使用中，频谱仪如果使用内置衰减器，会使频谱仪的底噪抬高，影响测量小信号的能力，所以很多有经验的射频工程师都喜欢使用外置衰减器，而少用机内衰减器。有很多频谱仪用户喜欢在频谱仪输入端口上半永久性地串接一个20dB或30dB的衰减器，一方面减少大功率信号误输入频谱仪导致硬件损坏的几率，同时也保护频谱仪射频接口减少磨损。此外，有时我们需要精确测试一些谐波信号的幅度，由于大幅度主波信号的存在会对小信号的测量造成影响，理想的做法是加入适当的高通滤波器，滤除抑制主波信号。

频谱仪的简易自检

如果你怀疑自己的频谱仪可能有故障，可以通过简易自检来了解仪器的当前状态。

很多现代数字频谱仪都内置有自检程序，可以对仪器主要单元进行初步诊断，快速发现一些明显的问题。不同的仪器调用的方式会有不同，一般分开机自检和菜单自检两种方式。

大多数进口频谱仪提供一个自校信号，通常是一个BNC参考信号输出端口，在面板上会标注参考信号的频率和幅度。

用一条尽量短的射频电缆，连接参考信号输出端口与频谱仪射频信号输入端口。在频谱仪上设置参考信号的频率，并开启幅度测量功能，查看频谱仪上显示的信号频率与幅度，是否与参考信号标称数据相符。考虑到射频电缆和接口的损耗，频谱仪显示信号幅度略低于标称值是可以接受的，但误差不应太大。

通过频谱仪的自校信号，虽然可以大致判断频谱仪幅度测量系统的工作情况，但不能完全诊断衰减器系统是否有故障。有时组合衰减器中的一个或几个衰减器出现故障，只会影响部分区段的幅度测量数值，要完全验证频谱仪衰减器是否良好，还是需要独立的高频信号发生器。

将高频信号发生器的信号输出端与频谱仪的信号输入端直接用电缆连接，任选一个工作频点，频谱仪上开启信号幅度测量功能。选择测试的信号频率不必很高，一般选择50～100MHz之间的频率点，过高的测试频率带来的电缆衰减会比较明显。将信号发生器输出幅度从小到大依次变化，频谱仪上的信号波峰应该平滑变化，频谱仪上的信号幅度测量值应与信号发生器输出幅度几乎相当。在此过程中，频谱仪各个衰减器单元都有机会参与工作，如果其中有一个或几个单元出现故障，就会出现某段幅度测量数据的明显偏差。

常用辅助参数功能设定

外置衰减器设定 现代数字频谱仪具有自动信号幅度测量和运算功能，如果用户使用外部固定值衰减器，可在仪器设置菜单中设置外部衰减器的衰减量，仪器会将外部衰减量纳入综合测量计算，用户不用再做人工数据处理。设置外置衰减器数据后，虽然从频谱仪画面上看，好像底噪对应数据标尺有所抬高，但实际上频谱仪的测量性能并未改变，只是显示数值上加上了数学运算而已。当然，如果你需要测量微小信号则不应加入衰减器。

前置信号放大器 有些频谱仪通过设置菜单，可以开启前置信号放大器PER AMP功能。前置信号放大器有对小信号进行幅度放大的作用，大部分前置放大器提供10～20dB的增益，这对提高频谱仪的灵敏度、发现小信号很有帮助。前置信号放大器有内置形式，也有外置器件，有的频谱仪需要外接独立的信号放大器，大部分外置信号放大器是通用的。

信号放大器并不是“万金油”，它在放大有用信号的同时也会一定程度地抬升底噪，而且由于信号放大器的增益并非完美、恒定，所以会增加对信号幅度测量的误差，信号放大器只在特定情况下才有完美表现。常规状态下，不建议长期开启前置信号放大器，一般只在检测微小信号或者需要频谱仪具有最高接收灵敏度的情况下，才尝试使用前置放大器。

幅度单位设定 大部分现代数字频谱仪Y轴幅度单位和幅度标尺都可自定义。一般频谱仪幅度常用单位为dBm功率单位，测量信号场强时可用dBμV。幅度标尺一般常用10dB/div，如果需要显示一些小幅度信号，可使用更小的标尺。

Marker标记功能

现代数字频谱仪都具有Marker标记功能，而且很多机器都支持多重Marker功能。Marker功能早期是用于定位频谱图上某点位置对应的确切频率点，现代数字频谱仪大多具有自动幅度测量功能，与Marker功能结合，不但可以确定频谱特定位置信号的频率，还可以显示该点的信号幅度。一般操作Marker标记功能都在专属菜单中调用，Marker以倒三角小箭头形式在频谱图上标识特定的点。通过Marker功能来测量峰值频率和幅度，比传统看刻度、数格子的方式快捷且准确得多。

ΔMarker功能是标记功能最多的应用。ΔMarker功能是自动测量、计算两个频点信号的幅度差异，以dB为单位显示，广泛应用于谐波抑制测量和信号比较。常规操作首先确定主频率点，然后在

TIPS

常规状态下，不建议长期开启前置信号放大器，一般只在检测微小信号或者需要频谱仪具有最高接收灵敏度的情况下才尝试使用前置放大器。

Marker菜单中选择ΔMarker功能，接着设定对比信号频率点，最后看仪器屏幕上显示的ΔMarker差异数值。使用ΔMarker功能比用人工操作来比较两个频率点的幅度差异更高效、准确。

常用自动测量功能

现代数字频谱仪最大的突破之处就是具有诸多自动测量功能，与传统手工测量相比，无论在操作效率还是读数准确度方面都有巨大的提升。现代数字频谱仪很多测量功能都是以软件形式实现的，所以很多高级测量功能和专项测量功能被做成附加软件包形式另外出售。数字频谱仪只要加载对应软件或输入软件功能授权码就能启用对应功能。对于一些特定制式的复杂信号，如GSM、CDMA、EVDO、TETRA、WIFI、蓝牙等，使用专项测量软件包，在测量效率、测量优化、专属特征数据获得方面都有很大的益处。

频谱仪最常用的自动测量功能是自动幅度测量和频率测量，高级测量功能有功率测量、邻道功率测量、信号占用带宽测量。频谱仪上一般有MEASURE按键，即测量相关页面的入口。

典型应用——测试对讲机发射杂散指标

测量发射机发射杂散情况是频谱仪主力应用之一。通过频谱仪，用户可以直观地观察到发射机带外发射情况。对于质检人员，测量发射机杂散可以检验产品是否符合厂家指标和国家无线电发射管理限值。对于研发人员，可以改进发射机滤波器，抑制带外发射。

第一步

开启频谱仪，并按照产品说明书中规定或操作流程规定，对仪器进行一定时间的预热，使仪器进入稳定工作状态。

第二步

根据对讲机的发射功率选择适当的衰减器。一般3～5W的手持对讲机可选衰减20～30dB/10W的衰减器，10～50W的车载对讲机可选20～40dB/50～100W的衰减器。衰减器最高标称工作频率应高于测量频率。衰减器的最大承受功率比测试功率大些没有问题，只是衰减器承受功率越大，体积和重量也越大。

第三步

用测试电缆连接对讲机、衰减器、频谱仪。如果接口不匹配，需使用转换接口。

第四步

在频谱上按Frequency按键，进入频率设置项目，设置对讲机发射频率作为中心频率。

如果不了解对讲机的实际发射频率，可以利用频谱仪大范围频谱显示功能，先找出对讲机准确的发射频率，再进行第四步操作。

第五步

按SPAN按键，设置适当的SPAN扫宽和RBW分辨率带宽。一般常规窄带FM模拟调制的对讲机信号，SPAN扫宽可设置为100～200kHz，RBW可选1～3kHz。

第六步

按对讲机PTT发射按键，使对讲机进入发射状态，按AMPLITUDE按键，调节频谱仪上的参考电平，使频谱图有理想的显示效果。此时，频谱仪上看到的是对讲机发射的主载波。如果你的频谱仪开启自动幅度测量功能或功率测量功能，可得到对讲机实际发射功率水平。

第七步

按Marker功能按键，进入Marker标记菜单，对当前信号峰值即对讲机发射信号标定，进一步选择ΔMarker功能。

第八步

按Frequency按键，回到频率设定项目，设置CF STEP频率等于当前测试频率。这样，可以快速地查看倍频频率点上的高次谐波情况。

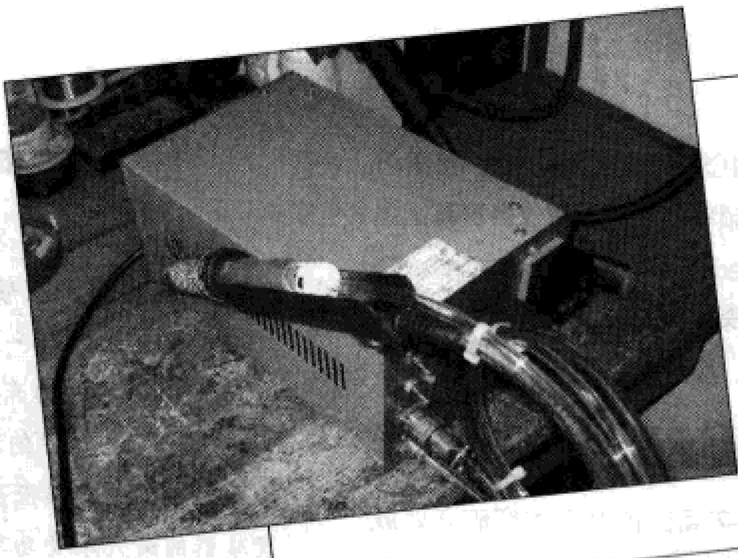
第九步

按动频率步进按键，频谱仪的中心频率会按当前频率+CF STEP频率递增。此时就能方便地查看2倍频、3倍频等高次谐波的情况了。ΔMarker数据会显示出当前倍频频率点信号幅度与主发射频率信号幅度的落差值。一般发射机在其倍频频率点上的带外发射最为明显。

此外，如果用户对所有的带外发射都感兴趣，可以使用频谱仪的Peak SEARCH峰值搜索功能，搜索右侧峰值来发现所有明显的带外发射情况。有的测试要求计算对讲机带外发射的功率总和，那么我们就不用ΔMarker功能，而是对频谱仪测量范围所及的所有带外发射进行绝对功率测量（利用频谱仪的自动幅度测量功能），然后手动累加。

◇蒋政森

DIY 电动吸锡烙铁



吸锡器是一种修理电器用的工具，主要用于收集拆卸焊盘电子元件时融化的焊锡，有手动，电动两种。维修拆卸零件需要使用吸锡器，尤其是大规模集成电路较为难拆，拆不好容易破坏印制电路板，造成不必要的损失。简单的吸锡器是手动式的，且大部分是塑料制品，它的头部由于常常接触高温，通常采用耐高温塑料制成。

大部分吸锡器为活塞式，按照吸筒壁材料，可分为塑料吸锡器和铝合金吸锡器。塑料吸锡器轻巧，做工一般，价格便宜，长型塑料吸锡器吸力较强，铝合金吸锡器外观漂亮，吸筒密闭性好，一般可以单手操作，更加方便。按照操作方式可分为手动吸锡器和电动吸锡器。

胶柄手动吸锡器的里面有一个弹簧，使用时，先把吸锡器末端的滑杆压入，直至听到“咔”声，表明吸锡器已被固定。再用烙铁对接点加热，使接点上的焊锡熔化，同时将吸锡器靠近接点，按下吸锡器上面的按钮即可将焊锡吸上。若一次未吸干净，再重复上述步骤。

电动真空吸锡器的外观呈手枪式结构，主要由真空泵、加热器、吸锡头及容锡室组成，是集电动、电热吸锡于一体的新型除锡工具。它具有吸力强、能连续吸锡等特点，且操作方便、工作效率高。工作时，加热器使吸锡头的温度达350℃以上，当焊锡熔化后，扣动扳机，真空枪产生负气压将焊锡瞬间吸入容锡室。因此，吸锡头温度和吸力是影响吸锡效果的两个因素。

（以上内容摘编自百度百科）

实在受不了手动吸锡器了！手动吸锡器每次吸的时候需要按下压缩弹簧，然后按释放钮才能弹上来完成吸锡，但有时候忘了按，使得吸锡总不顺利，很影响心情，于是想搞一个电动吸锡烙铁。到网上看了一下，买国产电动吸锡器接近400元，而且做工和结构确实看不上，白光全新的电动吸锡器价格又过高，二手的也好贵，想来想去决定自己DIY一个。

我的设计理念是负压罐存储负压，电磁阀控制吸锡，负压开关进行控制泵的启停，这样泵的工作时间比较短，而且相对安静。

首先要把罐子改成负压罐。负压罐选材方面比正压容器麻烦，正压容器用可乐瓶就可以搞定，但是负压不行。当时我用乐扣杯子做负压罐，直接被这个泵抽得爆掉了，场面惨烈。我选用的铝合金的罐子就没问题了。

准备材料

1. **二手美国哈格里夫斯12V直流双头隔膜泵，55元，最大负压−65cmHg 6.5L/min（串联），−55cmHg 13L/min（并联）。**
2. **日本产二手工业用可编程负压开关 dpx-200，60元，这是个好东西，12~24V供电，OC开路输出，实际上内部还有气压传感器输出，只不过没有接线而已。**
3. **单路电磁阀，20元。**
4. **黄花30W手动吸锡烙铁，25元（带两个头）。**
5. **气管和各种接头，30元（多买了些备用）。**
6. **超市购买铝合金550ml水壶1个，12元。**

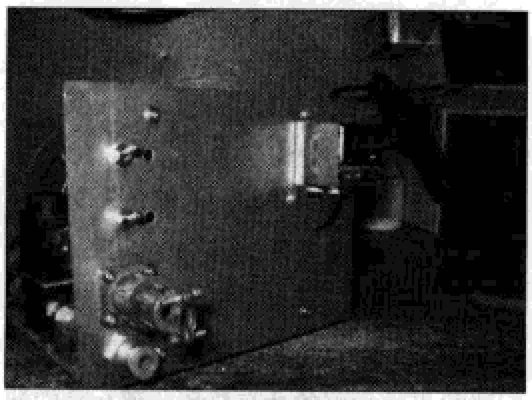


图1 用双面覆铜板做机壳前后面板

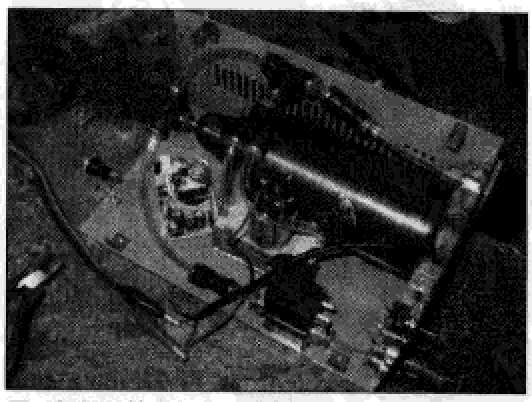


图2 假组后的内部布局效果

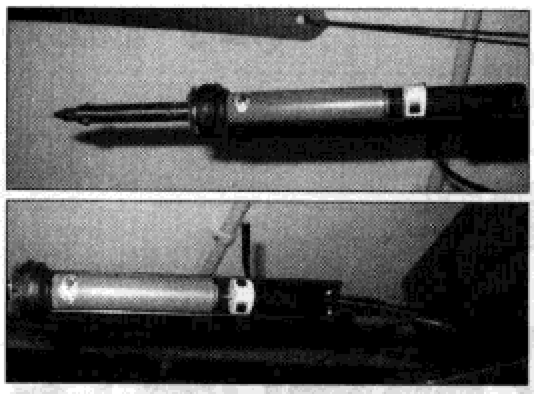


图3 改造后的烙铁

其次，用12V/2A的电源为电磁阀和泵供电，我所用的电源是以前买的拆机电源，5元一个。

最后，要考虑机壳。机壳采用的是我以前雕刻机电控箱的盖子，比较大，直接切成两半变成了机壳的主体。机壳的前后面板用的是双面覆铜板，如图1所示，用ARTCAM设计后用雕刻机制作的，用比手工打造的精度好多了，而且又省力。

首先进行一下假组，看看内部布局效果，如图2所示。

改造后的烙铁如图3所示，原来的手动吸锡活塞去掉之后，利用原有的筒体作为存储焊锡渣滓的容器，内部用两层过滤，第一层是可以随时替换的钢丝球进行堆积，第二层是那种专用气动设备上的过滤器，后面加装一个快装口，方便拆卸气管，并且在烙铁上部加装了一个轻触开关，作为吸锡控制开关。

控制板原打算用单片机进行设计，后来一想，完全没必要简单问题复杂化，于是用洞洞板搭了一个控制板，用一个MOS管作为气泵控制，一个中功率三极管作为电磁阀控制，还有几个电阻、二极管以及发光二极管，两个双刀双掷开关就完成了整个吸锡烙铁的逻辑控制电路，电路如图4所示。图5所示是初步组装完成后的内部构造。

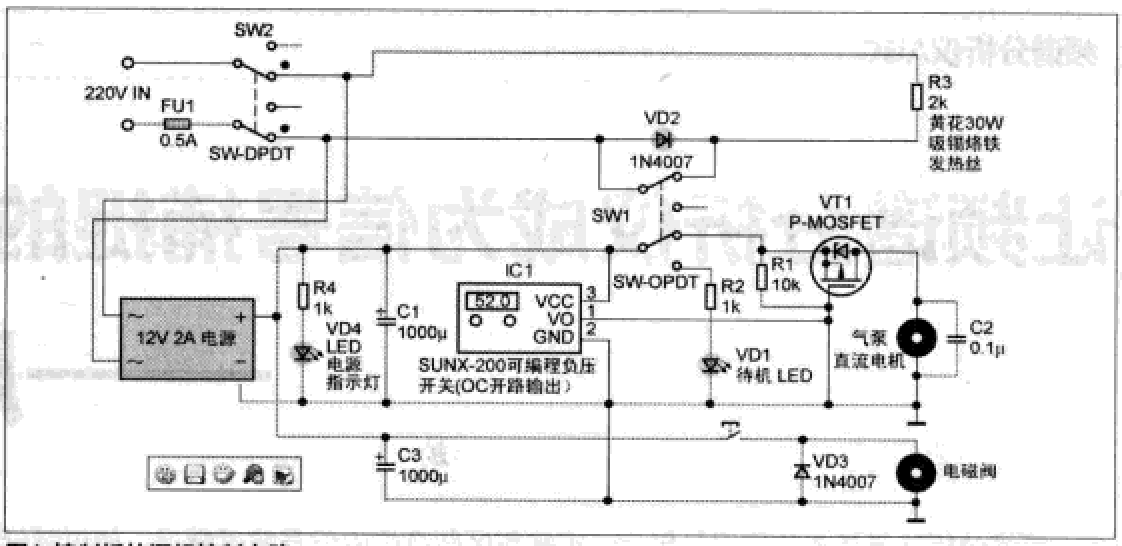


图4 控制板的逻辑控制电路

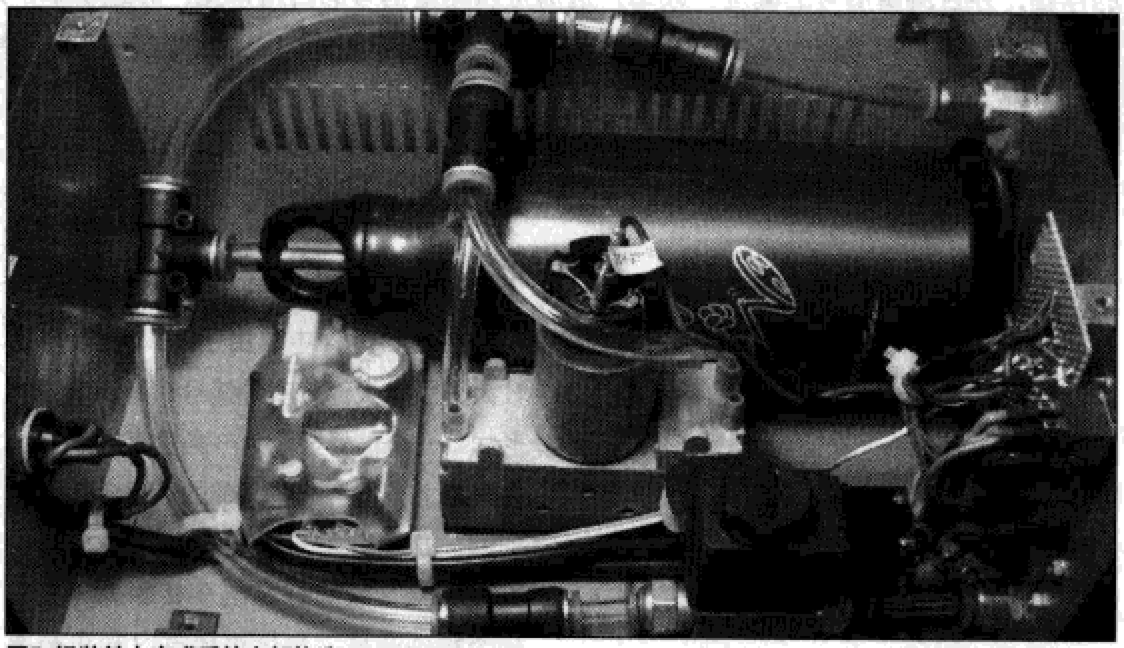


图5 组装基本完成后的内部构造

图6所示是组装完毕的电动吸锡烙铁，但前后面板还没有喷漆。后面板进行喷漆后，用标签机打了几个标签贴上去，见图7。图8所示的烙铁架子是我用一个旧的烙铁架子改装的，拆掉原来的支架，然后用螺丝固定在机壳旁边。

负压开关，我设定在-53cmHg停机，-20cmHg开机，如图9所示。面板左上方是电源开关，它下面那个是烙铁的保温开关，保温时橙色灯亮，手柄吸锡按钮无效，烙铁半功率运行，加热时，烙铁全功率加热，指示灯变红色，吸锡按钮有效。在使用DIY 吸锡烙铁工作时，一些排针不用摇动，直接轻轻就拿出来了，总的来说，达到了预期效果，没有烂尾，哈哈。

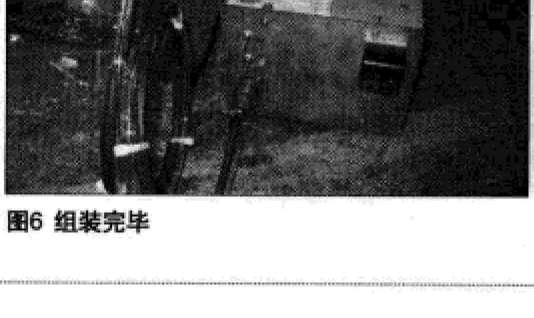


图6 组装完毕

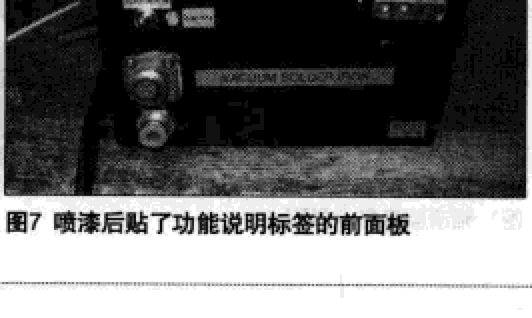


图7 喷漆后贴了功能说明标签的前面板

图8 安装烙铁架子

频谱分析仪ABC

◇杨法（BD4AAF）

让频谱分析仪成为信号捕捉的高手
——应用与操作

频谱分析仪最基本的作用是显示一定频率区间范围内信号幅度情况。通过频谱仪的这一基本特性，我们可以用它发现信号的存在，并且测量信号的幅度、频率，进而可以测量信号的占用带宽、邻道功率、高次谐波杂散，也可以用来观察调制信号的调制频谱特征，利用频谱仪Zero SPAN功能还能观察信号在时域上的调制波形。跟踪信号源是频谱仪最常用的扩展应用，用于测量器件的传输频响。

信号搜索

使用频谱仪搜索信号要本着先宽频率范围初步搜索，然后再缩减测量频率范围，精确定位目标信号的原则来进行操作。宽频扫描按照需要测量或监视频率的范围，设置起始扫描频率和终止扫描频率，RBW采用仪器自动设置，有的频谱仪具有FULL SPAN功能，即在频谱仪最大工作范围进行扫描。当频谱仪频率扫宽范围较大时，限于频谱仪的综合处理能力，为了使单次扫描时间不至于太长，在自动设置状态下会自动选择较大的RBW，我们称其为“粗扫”。如果用户不介意频谱仪单次扫描显示的时间，可以适当手动减小RBW分辨率，这样虽然牺牲一些频谱显示的实时性，但可以获得相对较精细的扫描和较低的底噪，有利于小信号的发现。有时，由于频谱仪综合性能的问题或者需要频率的扫宽范围太大，也可以采用分段扫描的方法。有些中高档的频谱仪软件支持分段扫描模式，并可以在不同频率扫描区间设定不同的RBW/VBW。频谱仪在默认设置状态下，底噪显示幅度比较大，容易干扰一些小信号的显示，用户可以设置较小的VBW（视频带宽）和利用多次平均的方法来抑制底噪显示。

在粗扫过程中，由于RBW设置得比较大，所以大部分窄带信号都是以谱线的形式（一个信号显示为一条垂直线）显示在屏幕上，甚至一些紧邻的信号会混叠在一起。这时我们可以先记录这些信号的大致频率，然后针对每个频率进行进一步的精细测量。具体操作可以利用频谱仪的Maker功能手动定位频谱图出现谱线的具体频率，也可以利用频谱仪的PEAK Search功能自动定位频谱图出现谱线的具体位置和频率，然后手动设置较小的SPAN扫宽和RBW分辨率，以准确地测量这些信号。对于相邻紧密的信号，可以用小的RBW进行测量，用于分辨不同的信号。

频谱监视

利用频谱仪对空中特定频率范围进行监视是频谱仪的典型应用之一，广泛应用在无线电管理、干扰排查、移动电话网络优化等领域。通过频谱图可以直观地看到频率占用情况和信号的幅度。监视空中频率操作的步骤如下：

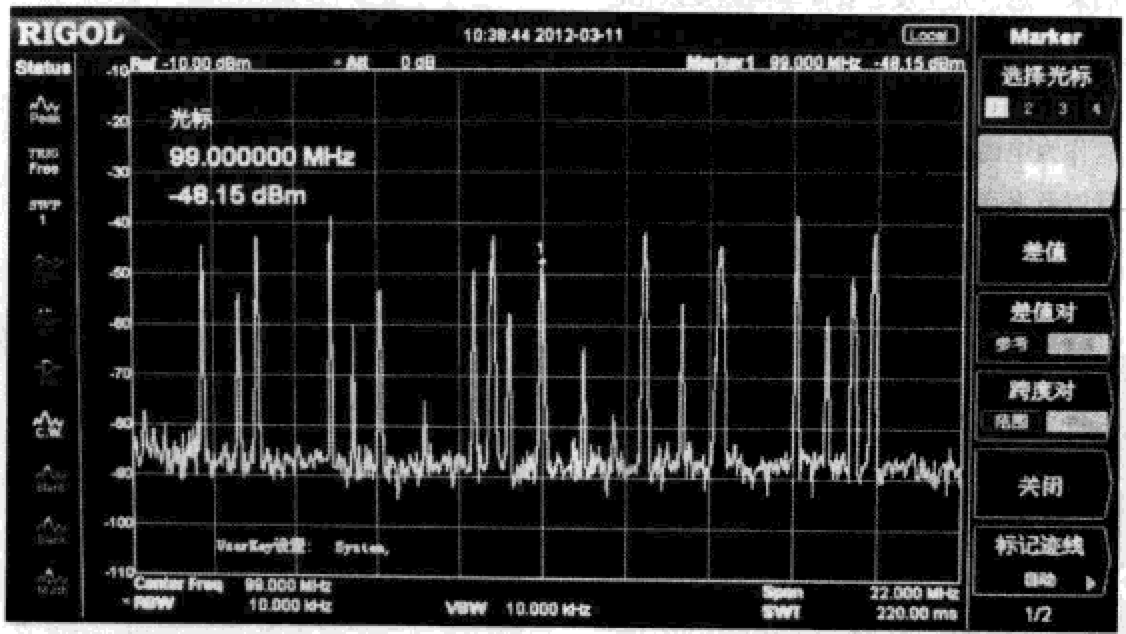


图1 频谱监视显示界面

第一步

将频谱仪的信号输入端口与测量天线链接。因为一般入门级频谱仪实际接收灵敏度/底噪在-100～-120dBm水平，用于监视广播级信号是绰绰有余的。如果用于较弱的对讲机通信信号的监视，就需要配合有一定增益的天线或信号放大器。

第二步

根据需要监视的频率范围，在频谱仪上输入频谱扫描的起始频率和结束频率。如果要监视国内FM调频广播频段，可以输入起始频率88MHz，结束频率108MHz。如果要监视UHF业余无线电波段，可以输入起始频率430MHz，结束频率440MHz。在RBW固定的情况下，频谱仪扫描频率越宽，完成单次扫描耗费的时间也越长，将直接影响频谱显示的实时性。频谱仪的扫描带宽、分辨率、扫描速度三项参数是相互牵制的。

第三步

设置频谱仪RBW分辨率，设置RBW应根据监视信号的类型、频谱图实时性要求、设置对底噪的影响三方面来综合考虑。一般如果是对FM广播全频段监视，由于广播信号采用宽带FM调频方式，所以RBW可选30～100kHz。如果是对430MHz业余电台波段信号进行监视，由于业余电台对讲机所用FM调制为窄带调制，所以RBW可选3～10kHz。具体设置可根据不同频谱仪显示效果调整。一般在满足扫宽和实时性的前提下，可以选择相对较小的RBW。如果有的用户嫌频谱显示底噪较大，可以设置较小的VBW来改善显示。

第四步

调整参考电平，使频谱仪有最佳的显示。如果你在使用中感觉频谱仪灵敏度不够高，可以尝试开启频谱仪前置放大器或外接放大器，以提升信号幅度。

第五步

如果需要自动显示当前监视频段中最大信号的具体频率和电平幅度，可以进一步开启频谱仪的自动峰值搜索和电平测量功能。图1中显示的是上海FM调频广播频段的频谱，每个尖峰代表一个广播电台频率。

提高频谱仪灵敏度的技术方法

频谱仪的灵敏度是由自身硬件性能所决定的，它在测试一些小信号时显得至关重要，很多时候一些小信号会被淹没在频谱仪的底噪中而被忽略。频谱仪在不同设置状态下的灵敏度或者说底噪是不同的，所以用户可以通过一些设置提高频谱仪的实际灵敏度。

首先，减小RBW分辨率可以降低底噪。不过单纯减小RBW会减慢频谱仪单次扫描速度，从而影响频谱图显示的实时性，所以在减小RBW的同时，可以同时考虑缩减SPAN扫宽。一般在精细测试时，扫宽设置为有效信号带宽的2～5倍即可。有的用户精密测试窄带信号动不动就使用几兆赫兹的扫宽，认为扫宽设置得大些，看到的信息才会更多一些，这样的设置是不推荐的。

其次，减小机内衰减器的使用频率。因为为了保证频谱仪正确测量信号电平，机内衰减器和中频放大器是联动工作的，使用频谱仪内部电子衰减器会明显抬高本底噪声，有经验的工程师更喜欢使用外部无源衰减器。一般为了得到频谱仪最佳灵敏度，都将频谱仪内部衰减器Atten手动设置为0dB。当然，在测试一些大信号时，适当使用频谱仪机内衰减器，包括仪器自动设置使用机内衰减器都没有问题。

再次，减小VBW分辨率可以平滑频谱曲线，减少噪声的显示，有利于小幅度信号的显示。对于稳定的测试信号还可以使用较多次数的Average平均值。

另外，如果有的频谱仪内置有可选的前置放大器，也可以尝试开启，一般低噪声前置放大器可以提供10～20dB的信号放大量，在某些情况下是很有用的。不过需要注意的是，使用前置信号放大器会增加信号幅度测量的误差，有时信号放大器对于极微弱的信号实际作用不大。对于没有内置前置信号放大器的频谱仪，可以使用外置信号放大器，外置信号放大器大部分是通用的。

频率测量

频谱仪作为频域仪器可以用来测量频率，虽然在测量精确度方面不及专业的频率计，同时由于频谱的价格远高于频率计，所以也没人刻意用频谱仪去替代频率计功能。但当遇到一些幅度不稳定的信号，如TDMA脉冲信号，那么普通的频率计就无法测量，这时数字频谱仪优势就体现出来了。

用频谱仪测量窄带信号频率时，首先用较大的扫宽搜索信号的大致频率，然后用较小的扫宽和精细的RBW来精确测量准确的频率。通常工程师喜欢用Peak Search功能让仪器自动定位信号的峰值，这样较手动使用Maker功能定位信号，更有利于减少人为操作引入的误差。

对于测量不稳定的窄带脉冲信号，需要充分应用到数字频谱仪的峰值保持功能或触发单次扫描功能。具体操作办法是：

第一步

开启频谱仪的MAX HOLD峰值保持功能，同时通过设置确保频谱仪工作在较快的扫描状态下，这样频谱仪能

比较顺利地捕捉并保留瞬时的脉冲信号。对于宽带脉冲信号扫频式的频谱仪有可能不容易捕捉到完整的频谱图，但对于窄带脉冲信号扫频式频谱仪，捕捉到的频谱图还是可以直接测量的。此外，也可以通过设置触发条件来捕获瞬时脉冲的频谱。

第二步

捕捉到脉冲信号的频谱图后就能利用Maker功能方便地对峰值信号进行频率定位。利用频谱仪测量窄带信号频率应尽量使用较小的RBW，以减小测量误差，正确设置RBW对频谱仪的频率测量影响很大。

功率测量

频谱仪可以测量信号在频域上的幅度，自然也能测量信号的功率。现代数字频谱仪通过加载专业测试软件包，还能实现自动或半自动的通道功率和邻道功率测量。频谱仪表示信号幅度的常用单位dBm，实际上就是一个功率单位。该单位用1mW作为0dBm基准参考点，dB（分贝）就是实际功率相对1mW的倍数关系，例如30dBm = 1000mW = 1W，30dB在数学上就是1000倍的意思。频谱仪理论上不但可以作为功率计使用，还可以作为超高频毫伏表使用，而且还是选频毫伏表。大部分数字频谱仪的测量单位都有多种选择，常用的单位有dBm、W、V、dBμV等。作为毫伏表使用时可选μV/mV/V电压单位，并使用适当的探头。

需要注意的是，频谱仪输入端口信号承受功率比较小，输入过高电压会导致测量失真甚至损坏频谱仪硬件。一般经验要求输入频谱仪端口的信号交流射频电压不超过1V，如果遇到高功率信号，应当外接功率衰减器，使信号电平符合频谱仪输入的要求。

频谱仪测量功率的结果和其设置的检波方式与平均方式有关。对于常见的CW信号，一般建议采用Peak检波方式，对于噪声信号适合采用Sample检波方式，对于小信号测试，一般建议采用Negative Peak检波方式。平均方式CW信号适合采用LOG平均，时变信号适合采用Power功率平均方式。一般常见的窄带连续稳定功率信号都参照CW信号设置。

利用频谱仪测量窄带连续稳定信号具体操作如下：

第一步

根据被测信号的预计功率大小，选用适当的衰减器与频谱仪连接，注意衰减器的衰减量和承受功率。

第二步

设置频谱仪Peak检波方式和平均方式。

第三步

定位被测信号频率，并将Maker光标定位在该信号幅度峰值上。开启频谱仪幅度测量功能，读出被测量信号的幅度，即功率。如果外部使用衰减器，应计算衰减器的衰减量。

跟踪信号源的应用

跟踪信号源实际上是一个输出幅度恒定、与频谱仪扫描接收频率同步的扫频信号发生器，频谱仪是接收机，通过一发一收，测量设定频率范围内连续频率点上信号幅度的变化情况，借以了解两端口网络的传输频响，功能类似扫频仪和标量网络分析仪。如果与驻波电桥配合，则可以得到单端口器件，如天线、负载器的反射频响曲线，用来测量器件的传输匹配阻抗情况。

图2 高频信号输出口

频谱仪是否装备了跟踪信号源，从仪器外观上很好辨认。大部分内置跟踪信号源的频谱仪都会在面板上多出一个高频信号输出口，标有"GEN OUTPUT"或"RF OUT"字样，见图2。要注意与一些频谱仪提供的自校信号端口区别，自校信号端口上通常直接标上固定输出频率和输出信号幅度。一般频谱仪的跟踪信号源都是选件，仪器面板上会留有跟踪源输出端口的位置，未安装跟踪源组件则会用个小盖子封上。

使用频谱仪跟踪源功能的具体操作是：

第一步

准备两条测试电缆和一个能将两条电缆连在一起的连接器，测试电缆用于分别连接频谱仪的跟踪源输出端和信号输入端，测试电缆的另两端分别可与被测器件输入、输出端口相连。

第二步

进入跟踪源工作模式，设置跟踪源参数。进入跟踪源，设置菜单。首先设置跟踪源输出频率范围，这与频谱仪扫描频率区间设定一样，有"中心频率+扫宽"和"起始频率+终止频率"两种输入方式。

第三步

校正测量系统，将两条测试电缆通过连接器直接互连（相当于跳过被测器件直接短接），执行自校准程序，这样仪器就能修正由测试电缆和端口连接器引入的高频插入损耗造成的误差。通过校正操作，测试电缆就与频谱仪融为一体，测试端口也由仪器面板端口延伸至测试电缆端口，在频谱仪显示屏上也出现一条水平的直线（测试电缆短接状态下）。有的老式频谱仪软件不支持此类校正操作，可跳过这一步骤。未经校正的跟踪源信号参考线会出现弯曲（波动）和倾斜（上翘或下弯）的情况，影响测量的准确性。

第四步

断开相互短接的测试电缆，取下连接器。将测试电缆的两端与被测器件的输入、输出端口连接，如接口类型不匹配，可使用转换接头。

第五步

连接完毕频谱仪屏幕上显示出被测器件的传输频响曲线。对于带通滤波器显示出“凸”字图形，对于小型双工器一类的陷波器则显示出“V”字形或“凹”字形图形。图形背景网格线表明信号落差的分贝数，一般默认背景格垂直每格代表10dB。

现代频谱仪在跟踪源模式下也可以使用Maker和ΔMaker功能以及测量带通滤波器3dB、6dB或自定义带宽自动测量功能。带外信号的衰减幅度和插入损耗以及滤波器特性曲线陡峭程度都是滤波器性能的重要指标。

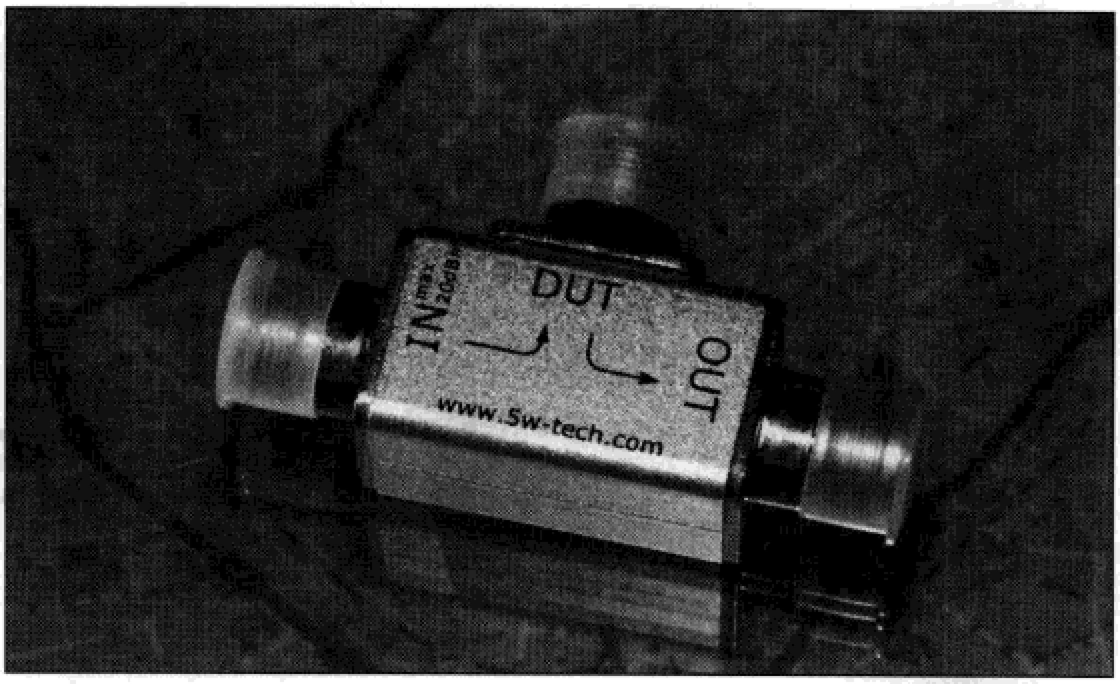


图3 驻波电桥

如果你的频谱仪和跟踪源工作频率足够高，并支持比较精密的测量，那么通过上述方式，在测试电缆端口接入一段已知长度的射频电缆，通过测量电缆在不同频段的衰减量，就能计算出该电缆实际的射频衰减特性。除了电缆，用户也可以接入衰减器进行测试，以了解其实际支持的工作频率范围和带内衰减量波动情况。

将驻波电桥的输入、输出端口分别通过连接电缆与频谱仪的跟踪源输出端口和频谱仪信号输入端口连接，在驻波电桥的测试器件端口上连接被测天线或单端口射频器件，在频谱仪屏幕上就能看到反射曲线，反映传输匹配情况。对于谐振型天线来说，会出现“V”字形曲线图，“V”字的最低点对应的频率就是天线的谐振点，在一定驻波范围内的频率区域就是该天线的实际带宽。

高级的频谱仪或信号分析仪支持驻波电桥应用的校正。在校正操作引导下，分别在驻波电桥（见图3）的器件测量端口上安装上开路、短路、50Ω匹配负载三种校正件，校正整个反射测量系统，使得测量更为精准。

频谱仪的解调功能

有的频谱仪针对某些特定调制信号具有解调功能，通常是以选件形式实现的，通过解调功能，可以获得调制信号所承载的信息。常见的解调功能支持AM/FM调制方式，也是常规模拟信号应用中最常用的调制方式。

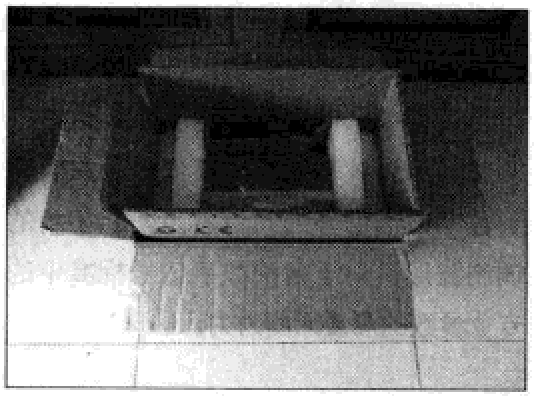
例如解调一个FM广播信号，那么用户就能听到信号中承载的音频信息，这时，频谱仪如同一台收音机。频谱仪的解调功能是对信号进行调制分析的重要组成部分，一些中高档频谱仪通过选件支持对主流数字通信信号的调制分析与测试，如GSM/GPRS、WCDMA、CDMA2000 SR1、CDMA ONE、EDGE、TETRA等数字信号。对于现代主流的数字通信信号，频谱仪必须配备针对性的专用测试模式选件，才能全面高效地进行测量，而传统基础型频谱仪最多只能看到数字通信信号的频谱占用图和初步的调制波形，对于各种数字信号标准中的专业参数的测量无能为力。

◇臧海波

RIGOL DS2202示波器试用体会

说起数字示波器，普源算是国内的老牌子了，我也算是一个普源的“老”客户了。早在2010年，我为自己的工作室购入了第一台数字示波器——普源的DS1052E，并一直使用至今。这次非常感谢《无线电》杂志社和北京普源精电科技有限公司（RIGOL）让我试用普源新推出的DS2202型示波器。

还没拿到测评的示波器之前，我先在网上查询了一下DS2000系列示波器的相关信息。按厂家的说法，DS2000系列示波器是2012年龙年初春推出的新产品，巧的是今年正好是我的本命年，所以从心里对这款产品有比较大的期待。我自用的DS1052E是普源的一款经济型示波器，等待测评的这台龙年新款经济型示波器会带给我多大惊喜呢？下面就从我所关注的几个角度，说说自己的一些试用感受吧！



示波器开箱照片

DS2202的人机界面

收到杂志社寄来的DS2202，外包装使用的是传统的瓦楞纸箱（双层包装），箱体上印着RIGOL的商标。示波器用硬塑料泡沫悬浮固定在纸箱正中，与箱体内壁有一定距离，泡沫塑料的缝隙里放着分类包装的配件。我非常欣赏这种悬浮固定的包装方式，可以很大程度地避免运输损坏的风险（如今大多数爱好者会选择网购渠道，物流安全是个不容忽视的问题）。

我家里铺的是60cm见方的地砖，读者可以想象一下这台仪器外包装的大致体积。箱子不是很大，重量在5kg左右，可

DS2202主机和配件

注：在普源的官网上可以查看他们新推出的DS2000系列示波器的详细信息，地址是http://www.rigol.com/prodserv/DS2000/。如果你刚开始接触数字示波器，可以参考《无线电》2012年第1、2、3期“我的实验室”栏目中BD4AAF所写的示波器入门与操作的文章，也可见《无线电2012年合订本（上）》。

DS2202和DS1052E

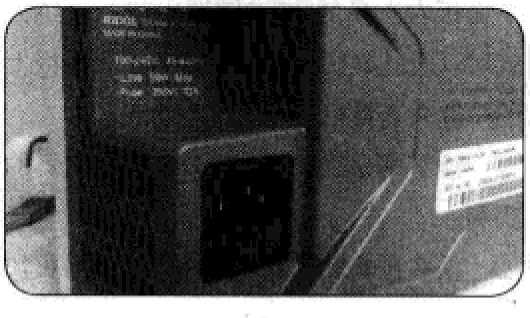
以放在自行车后座上带着走。

虽然事先对普源仪器的做工有所了解，但是拿到试用的这台DS2202以后，还是给我不小的惊喜。DS2202的模具开得非常好，用比较挑剔的眼光来看，仪器整体做工精细，属于国内轻工业相当高的工艺水平。当然，作为一家专业生产仪表级电子产品的大厂，制作工艺超过一般家用消费级电子产品也在情理之中。与我自用的DS1052E相比，这台DS2202的工业设计有几个值得称道的地方：

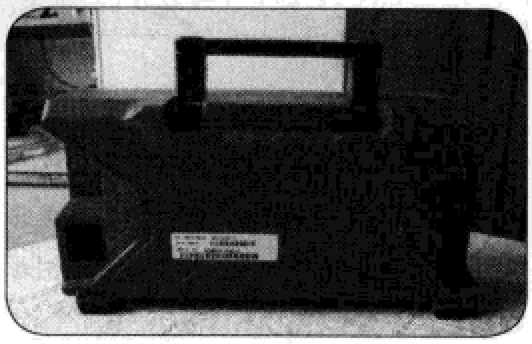
看到这台仪器的第一印象就是，显示屏的尺寸增加了很多，看起来非常舒服、大气。面板右上角增加了类似录像机的“飞梭”旋钮以及录制回放按键。

上图中左边为这次试用的DS2202，右边是自用的DS1052E。最明显的区别是，DS2202的显示屏在面板上所占的比例增加了。DS2202的全部操作都可以在面板上完成，按键和旋钮的手感适中，再加上仪器有一定分量，可以单手操作。与之相比，1052E需要一只手扶着仪器，另一只手进行操作。

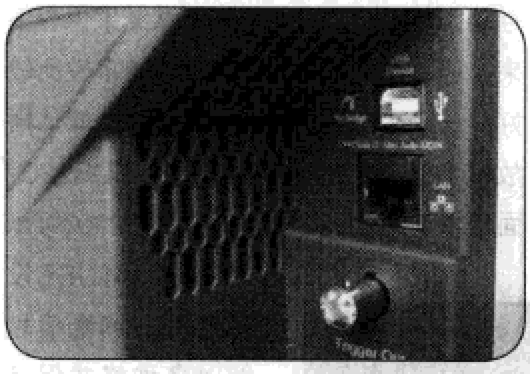
DS2202左后侧的电源插孔，配有保险丝，从这个角度可以看到侧面的散热孔。它的电源适应范围比较宽，为AC 100~240V，45~440Hz。



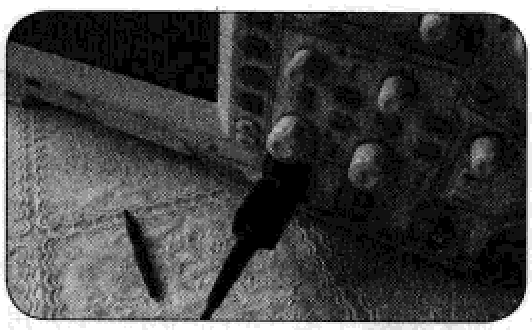
有细心的读者会问，怎么没看到DS2202的散热孔？别急，正要说到我喜欢的另一处设计。DS2202的顶部和后盖都没有散热孔，散热孔位于仪器两侧和凹槽内侧，采用强制风冷式散热。这样设计的好处是避免积尘，同时节省了仪器进深所占用的空间，你可以把它直接放在书架里或靠墙放置。此外，DS2202的常用接口全部位于面板下侧，仪器背面只有少数几个不常动的接口，即使不挪动仪器，盲操作也可以准确接驳背面的电缆。



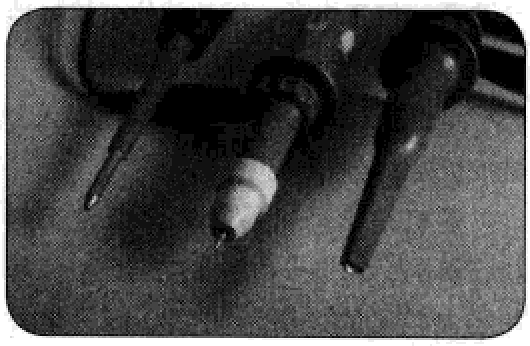
仪器右后侧的3个插孔，分别是USB、LAN和AUX(通过/失败,触发输出)。



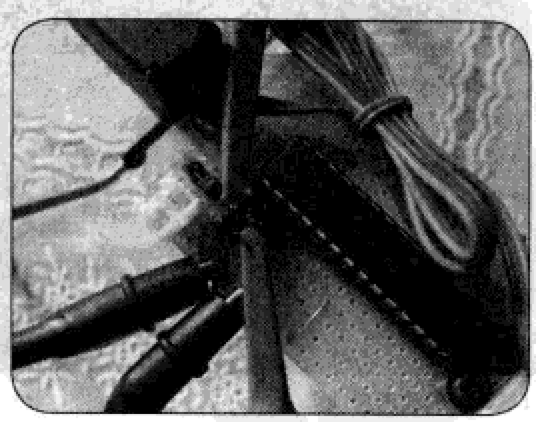
DS2202配有两套RP3300探头和一根USB电缆。配件的质量比较好，USB电缆两侧均带有磁环，探头自带的小配件也非常齐全。图中为一个通道的探头连接在示波器上的样子，边上是一根调节探头根部补偿电容的无感螺丝刀。



RP3300探头非常小巧，适合用来测量现代的紧凑型电路。照片从左往右依次为：传统模拟示波器探头、3300针形探头、3300钩型探头。3300探头比传统探头精细了很多。每套RP3300均带有针形和钩型两种探头、无感螺丝刀和一些用作通道标示的彩色塑料圈。



钩型探头是我比较喜欢的形式，DS2202示波器所配的两套钩型探头可以很好地与100mil（2.54mm）间距的插针进行连接。现在100mil间距的插针几乎成了电子业内小型连接器的统一标准，爱好者们业余制作电路所使用的洞洞板，焊孔间距也是100mil。使用这种钩型探头进行测量非常方便，可以空出两只手来做其他的事情。图示为使用两个钩型探头测试数字爬虫机器人的舵机控制信号。



DS2202实测

DS2202具有强大的自动测量功能，这意味着不再需要像使用模拟示波器那样，在测量前进行烦琐的挡位设置以及手工测量读数了。这有点类似由指针式万用表过渡到自动量程的数字表，老实说，测量过程一下子变简单了，操作起来还有点意犹未尽的感觉呢！

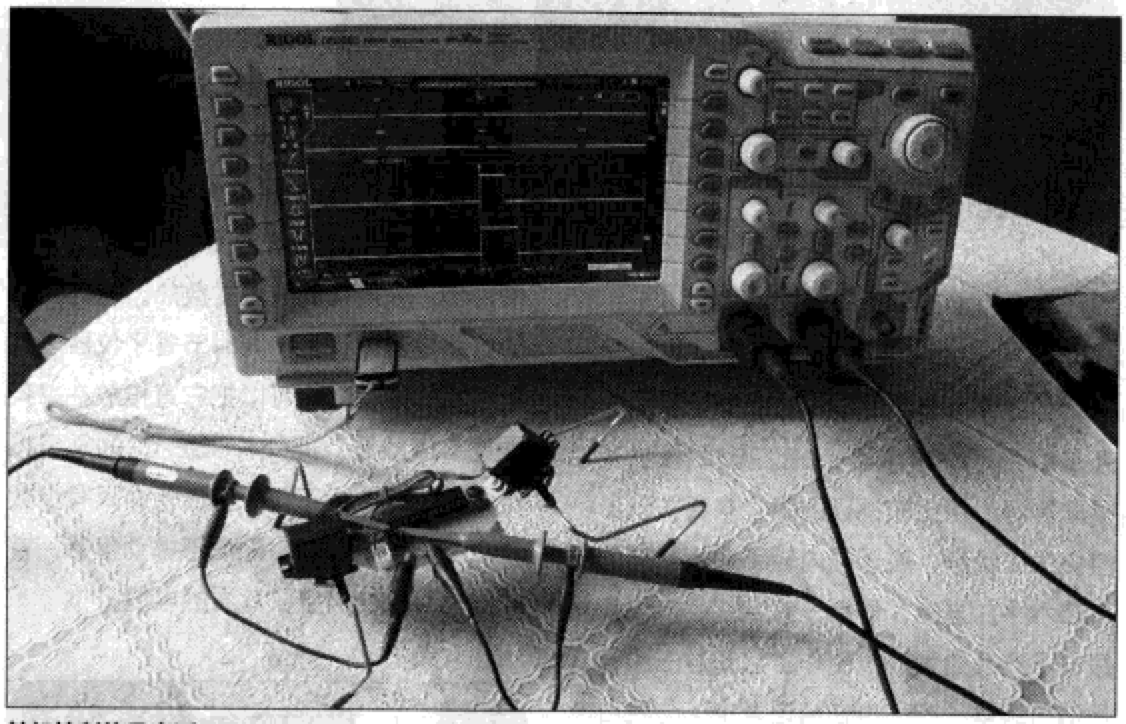
其实，再高级的示波器，也只是个看波形的工具，不用把它想得过于复杂。作为一个玩家，我最关心两个方面的问题：一是示波器的操作是否简单，二是测量复杂信号的能力。

用DS2202测量常见的波形，只需3个步骤：打开电源、探头就位（接好地线）、按下自动设置键就可以读屏了。

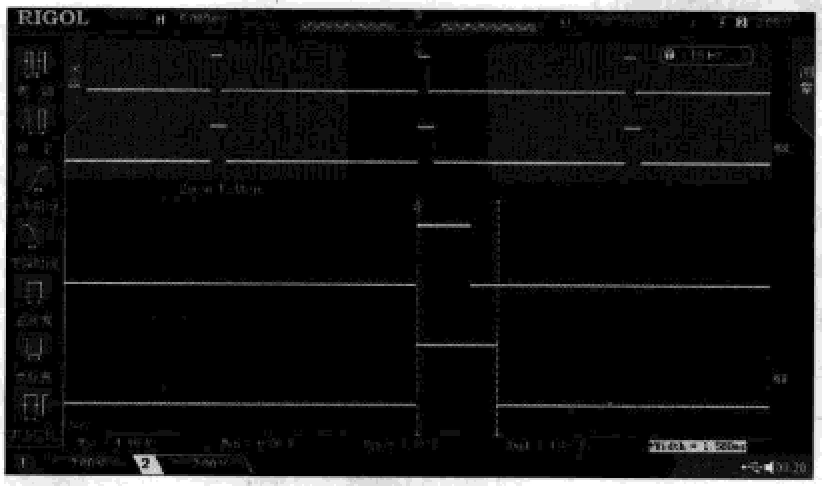
首先测试的是一只数字爬虫机器人上的舵机控制信号。

舵机是小型机器人上面最常用的执行机构，它是一种脉宽控制电机。舵机控制信号的周期为15~20ms，信号的正脉冲宽度0.5～2.5ms，与舵机的转角-90°～90°相对应。数字爬虫的两路舵机信号由一片M8单片机产生，用示波器直观地查看波形，无疑会给调试带来很大便利。

DS2202开机后有8s左右的自检启动过程，比传统示波器快了很多。正常开机后，连接好探头，按下AUTO键就可以读屏了。这种时序规则的脉冲宽度调制信号（PWM）用DS2202测量起来非常轻松。仪器配备的8英寸高清TFT屏的显示效果非常清晰、直观（DS1052E的波形显示相对粗糙），没有死角。



舵机控制信号实测



DS2202的波形显示

DS2202屏幕的左右两侧各分布有一列按键，左侧为测量键，右侧为功能键。可以在自动设置的基础上，进行更精确的手工设置和测量。DS2202支持U盘数据存储，可以非常方便地把测试结果保存下来。经过试用，仪器对U盘的兼容性比较好。一只在电脑上可以正常读取、媒体播放机上认不出的来的U盘，插在DS2202面板左下角的USB HOST上，DS2202可以迅速显示有USB设备接入。测量信息能以多种格式保存在U盘里，仪器支持新建文件夹、新建文件以及自命名。我试验的是JPG图片的保存，写入时间大约为15s。

从图中下方的自动测量结果可以清晰地看出，正脉冲信号的峰值为4.40V，其中一路舵机当前信号的宽度为1.580ms。如果使用传统的模拟示波器，读数过程就免不了一番数格子和手工计算了。

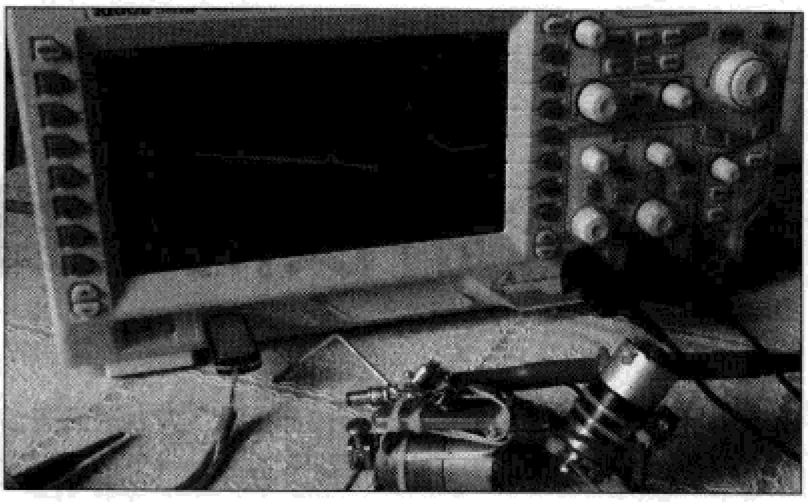
我还非常喜欢DS2202的一键写入功能。插上U盘，按下面板右上角的PRINT（打印）键，显示屏上的波形就可以图片的形式保存在U盘的根目录下面，非常方便。此外，DS2202还支持PictBridge协议（数码相机和打印机直接连接，打印照片的行业标准）的打印机，可以将测试结果一键打印出来。

DS2202面板上的按键和旋钮是英文标示的，仪器自带的帮助系统可以比较方便地查看相对应的功能。在测量过程中，可以随时调出帮助，显示屏提供多层信息显示，不会影响当前正在测量的波形。按下面板右上角的HELP键调出帮助系统，就可以通过导航钮选取或直接按下面板上的按键来查看相对应的帮助信息了。

接下来是DS2202对一个音频信号的实测。

很多音响发烧友认为模拟示波器更加

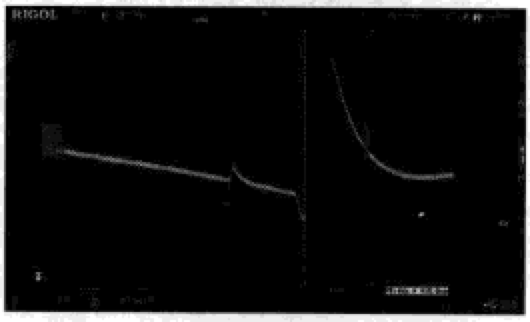
音频信号实测



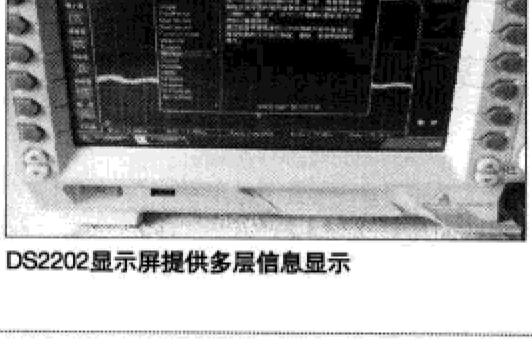
模拟爬虫机器人BICORE信号实测

适合测试音频小信号，尤其是mV级信号，这是因为与数字示波器相比，模拟示波器更不容易耦合噪声，或者说没有数字示波器那么灵敏。DS2202的手册介绍这台仪器的特点是低底噪，具有500μV/div~10V/div的超宽动态范围，可以清晰捕获小信号。

我实测用的信号源是一部ROLAND的GW8合成器，这次我想用示波器看看合成器实时演奏的波形。我选用了ROLAND的一个招牌音色——Porta SoloLd，这是电子舞曲中很“立”的那种主奏乐器的音色，信号特点类似锯齿波。将示波器的运行状态设置为RUN，



DS2202捕捉到的BICORE波形



DS2202显示屏提供多层信息显示

采样率2GSa/s，存储深度为仪器自动设定，数值是2.73Mpts，探头比1:1，分辨率2mV/div。示波器在一次触发中采样并产生波形，照片中的记录的是合成器演奏的一个单音符F，波形非常干净。

最后考察的是DS2202测量复杂信号的能力，测量对象是一只模拟爬虫机器人。

这只模拟爬虫由主-从BICORE（悬浮对称振荡器）控制。BICORE的电路组成非常简单，通常一个完整的BICORE只包括3个无源元件（1个电阻，两个电容）和两个有源元件（一般为带施密特触发功能的反相器），但是它的运转状态异常复杂。BICORE电路的振荡周期对噪声非常敏感，这使它具有类似生物神经的“活性”，因此BICORE也被称为神经元。受生物系统的启发，科学家把两个BICORE级联起来构成主-从BICORE，这个电路常被用来制作模拟机器人的中枢模式发生器（Central Pattern Generator，CPG）。

示波器的探头连接在电机的一相与地线之间，测试条件比较复杂。因为神经元对噪声敏感的特性，使其具有双向工作的能力，模块输出端既可以驱动电机，又可以“接收”来自电机绕组的信号（包含主轴上边的负载变化信号），波形可以用诡异来形容。我曾经用一台模拟示波器测试BICORE，波形很容易就“跑飞”了。DS2202的一键自动设置功能可以很好地捕捉到BICORE信号，效果还是挺不错的。DS1052E也可以看到BICORE信号，但是很容易因为信号幅度变化太大而“跑飞”，要多按几次RUN/STOP才可以捕获到。

多个神经元可以组合成非常复杂的神经网络，神经网络可以实现记忆效应和紊乱模式，能否准确地捕获到波形加以分析，对神经网络和机器人的调试都是非常有帮助的。这也是我第一次清晰地将带有负荷状态下的BICORE信号保存下来，这得益于这台示波器较高的实时采样率和存储深度。

我试用这个DS2202所测试的频率都比较低，但是波形相对复杂。测量复杂信号的能力正是考验一台数字示波器性能的重要指标。为了更好地体现DS2202的素质，我的测量基本都是在自动设置和自动测量的条件下进行的，结果证明了这台仪器操作的便捷性，具有较高的存储深度和动态范围。DS2202的功能远不止于此，比如它提供了丰富的波形触发功能（含多种协议触发），我在上面的测试中主要用到了仪器自动设置的边沿触发功能。

上述的几组实测是站在业余实测的角度上进行的，无法和专业的工程技术应用相比，但是反映出来的是，从上述变现看，这个系列的示波器较之前的DS1000系列在功能与体验上又有了更多的闪光点，是一台值得信任的品牌机器。

频谱分析仪ABC

◇杨法（BD4AAF）

频谱分析仪高级操作进阶

频谱分析仪作为频域信号分析仪器，除了常规的测量信号幅度、频率占用特性应用外还被用于相位噪声测量、信道功率、邻道功率测量、带宽占用测量、杂散发射检测、三阶互调以及EMC测试等高级应用。这些应用都是基于频谱分析仪基本功能的扩展，对信号进行特定的分析。

相位噪声（Phase noise）的测量

相位噪声一般是指在系统内各种噪声作用下引起的输出信号相位的随机漂移，是评价频率源频谱稳定度、纯度的重要指标。高端的高精度信号发生器、标准源、频谱仪都十分重视相位噪声这项指标。从频率稳定度的角度来看，相位噪声主要是指频率的短期稳定度。从频谱的角度来看，信号相位的随机漂移会在频谱上表现为频谱上功率密度的变化。相位噪声定义为单位赫兹（Hz）的噪声密度与信号总功率之比。相位噪声使用的单位是dBc/Hz，实际使用中通常是测定信号在特定频偏处的dBc/Hz值，所以在相位噪声指标单位后面都会跟有一个频率数值，如“-100dBc/Hz @ 10kHz offset”，即在信号偏置10kHz处的相位噪声。具体频偏数值根据应用指标定义而定。

传统上测量信号的相位噪声有多种方法，常用的有直接频谱仪测量法、鉴频法、参考源/锁相环法、互相关法，这些测试方法各具优点。

直接频谱仪测量法通过频谱显示边带上的噪声功率密度，这种方法具有操作简单、测量速度快、设备搭建容易（只要一台频谱仪）的优点。直接频谱仪测量法也有它的不足之处：它不能测量载波近端的相位噪声，也不能测量漂移严重的信号，不能分辨调幅噪声和相位噪声（测量结果包含AM噪声，但很多情况下，幅度噪声远小于相位噪声，因此可作忽略）。不过，瑕不掩瑜，在测量精度要求不高的情况下，直接频谱仪测量法成为相位噪声最常用的测试方法。即便现在有了测量相位噪声的专用仪器，但考虑到仪器成本过高，在实际应用中，绝大多数人依然使用频谱仪测量。

使用频谱仪测量信号的相位噪声要求频谱仪的本振相位噪声应低于被测信号源的相位噪声，而且频谱仪具有较小的RBW分辨率、较小的底噪、较大的动态。频谱仪测量信号的相位噪声有手动测试和程序自动测试两种方式。对于现代数字频谱仪，很多产品可以通过加装测量选件，实现特定测试模式。针对相位噪声测量，频谱仪厂家都推出了“Phase noise”的选件。通过该选件不但可以方便自动测量信号的相位噪声，免去手动公式计算，还具有显示相位噪声曲线功能。相位噪声曲线纵坐标（*Y*轴）为相噪的幅度，横坐标（*X*轴）为偏移频率，通过相位噪声曲线我们可以了解信号在不同偏移频率处的相位噪声。而通过手动测量只能测得在特定偏移频率点上的相位噪声数值。

◆ 手动相位噪声测量

手动测量相位噪声并不十分复杂。

第一步

将被测信号接入频谱仪，如果信号功率较高，考虑使用适当的衰减器。

第二步

设置信号的中心频率（CENTER Frequency）。

第三步

进入AMPLITUDE设置项，通过主调节旋钮调整参考电平（REF LEVEL），使得信号显示波峰接近屏幕网格顶部。

第四步

设置适当的SPAN扫宽。SPAN不宜过大，一般能够完全显示噪声边带即可。很多工程师习惯在测试信号相位噪声时将信号主峰偏向频谱显示画面的左侧，这样更有利于信号一侧的相位噪声信号显示与标定。一般在设定中心频率和基本确定SPAN扫宽后，在设置CENTER Frequency模式下转动主调节旋钮，使测试信号主峰偏向显示屏的一侧。

第五步

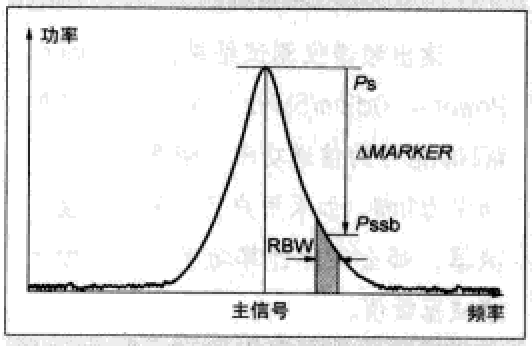
进入BW设置项，设定RBW/VBW，建议在频谱仪性能允许的情况下设置较小的RBW。一般对于测量信号，在10kHz处的相位噪声多选取30Hz或300Hz（100Hz）RBW。这样不但可以降低频谱仪的底噪，也有利于对相噪的测量。为了使频谱曲线平滑，可以设置较小的VBW并使用平均功能。

第六步

对主信号与特定频率偏移点进行手动ΔMARKER幅度差测量。进入MARKER功能，首先选择标定主信号峰值（为了精确定位主信号峰值，也可以使用PEAK SEARCH功能辅助），然后选择DELTA功能，进入频率设定项目，通过旋转主调谐旋钮，将ΔMARKER的MARKER标定点移动到相位噪声测试要求的频率偏移处。最后读出ΔMARKER的差值。有的频谱仪没有ΔMARKER功能，则需手动测量主信号峰值幅度和指定频率偏移点信号幅度，然后相减得出两者的差值。

第七步

根据相关公式进行运算得出特定频率偏移处的相位噪声。相位噪声（偏移频率处）$=P_{ssb}-P_s-10\lg(RBW\times1.2)+2.5$。其中$P_{ssb}$为特定频偏处一个边带的噪声电平，$P_s$为主信号载波功率电平，$RBW$为测试频谱仪所用$RBW$分辨率带宽的数值（以Hz为单位），数字2.5为修正数值，其中“$P_{ssb}-P_s$”即为ΔMARKER测量所得数值。举个例子:若通过上述方法在信号10kHz处频谱仪RBW=30Hz设置下，测得信号的ΔMARKER数值为-90dB，那么该信号在10kHz处的相位噪声为$-90-10\lg(30\times1.2)+2.5\approx-103.06$dBc/Hz@10kHz。频谱仪外接衰减器对相位噪声测试结果没有影响。



带宽占用OBW (Occupied Band Width)测试

带宽占用是指一个射频信号能量所占频谱的宽度。绝大多数调制信号都需要通过占用一定的带宽来实现调制信息。随着通信科技的发展，越来越多的宽带调制信号出现（其中CDMA和WCDMA信号就是典型的宽带信号），因此对信号占用带宽测试应用日渐增多。

带宽占用是频谱仪测试的强项。常用的测试标准有两种，一种是20dB占用带宽，另一种是99%功率占用带宽。20dB占用带宽是指以信号相对最大功率值降低20dB（相当于100倍）为界限，标定信号实际占用的频谱宽度，99%功率占用带宽是指99%功率能量占用的频率宽度。20dB占用带宽可使用手动方法测量，99%功率占用一般都需要使用数字频谱仪内置的OBW测量模式进行自动测量。目前对大部分中大功率信号的测量都要求采用99%功率占用带宽，20dB占用带宽多用于小功率测试或内部测试。

◆ 手动20dB占用带宽测试

手动进行20dB占用带宽测试实际操作并不复杂。

第一步

将被测信号接入频谱仪，如果信号功率较高，则考虑使用适当的衰减器。

第二步

设置信号的中心频率（CENTER Frequency）。

第三步

进入AMPLITUDE设置项，通过主调节旋钮调整参考电平REF LEVEL，使得信号显示波峰幅度为整个屏幕的80%~90%。

第四步

设置适当的SPAN扫宽。对于WCDMA这类的宽带信号，SPAN可设为理论带宽的1.5~2倍；对于FM对讲机之类的窄带信号，SPAN可设为理论带宽的3~4倍。设置SPAN不必限于固定数值，可以根据实际情况调节SPAN扫宽。在SPAN设置状态下，除了手动输入扫宽数值外，也可以使用主调谐旋钮进行调整。原则是信号频谱曲线充分展开，以便标定20dB界限。

第五步

开启频谱仪的测量功能和MARKER功能，使得频谱仪显示出MARKER标定点的信号幅度水平。

第六步

利用频谱仪的PEAK SEARCH功能，自动定位并测量被测信号的最大峰值。

第七步

将测得信号最大幅度功率值减去20dB即成为带宽边界幅度值。

第八步

手动操作MARKER 2标定点，通过主调谐旋钮寻找在信号左侧对应边界幅度值的点。

第九步

标定了带宽左侧边界后，启动ΔMARKER功能，手动转动主调谐旋钮寻找位于信号右侧ΔMARKER 2=0dB的点。

第十步

MARKER 2与ΔMARKER 2的宽度就是该信号20dB占用带宽。

频谱仪外接衰减器对占用带宽测试结果无影响。

◆ 自动99%功率占用带宽测试

利用频谱仪自动测量功能进行99%功率占用带宽测试比手动操作方便得多。

第一步

将被测信号接入频谱仪，如果信号功率较高，则考虑使用适当的衰减器。

第二步

输入信号的中心频率，并设置适当的SPAN带宽和参考电平。

第三步

开启频谱仪的测量模式，选择OBW占用带宽测试功能。

第四步

设置OBW测试选项，选择99% Occupied模式（根据不同的测试要求也可以设置不同的标准）。

第五步

仪器会自动进行占用带宽测试，包括测定计算信号的总功率，然后自动标定一定功率比的边界。用户此时只要保证输入信号持续稳定即可。

使用自动测试的好处是操作简单、测试效率高，仪器会自动计算并显示调制带宽，甚至用户无需了解信号的类型和特性，只需要知道信号标称的载波频率即可。现代先进的数字频谱仪不但可以自动测试各种标准的信号占用带宽，还可以在自动测试中显示出总功率和发射频率误差。发射频率误差是指被测信号的对称性，中心频率与输入中心参考频率的差值。

信道功率（Channel Power）测试

信道功率是指射频信号在特定带宽内的能量水平。信道功率使用一个复合单位来表示dBm/xMHz，这个复合单位前半部分是功率单位，后半部分是频率带宽单位，顾名思义合起来就是在一定带宽范围内的功率。早期的简单连续信号（如CW信号）测量很简单，除了使用专门的测量仪器——射频功率计之外，使用频谱仪的峰值幅度测量功能也能很方便地测量功率。不过随着宽带信号、扩频信号和时分信号的出现，过去一些常规功率测量手段都出现了问题。以时下流行的WCDMA信号为例，如果依然用传统方法在频谱仪上做个MARKER，然后测量其幅度，那么得到的功率数值会比实际功率低很多。这是因为此时WCDMA信号并非所有的功率都集中在一个单一的频率上，调制信号的能量被分布在一段射频频谱上，用频谱仪的通用MARKER功能测定信号幅度只能反映一个窄带频谱区域上的能量。为了正确测量这类信号的功率，就需要用积分计算整个信号曲线的总功率。不过用手动测量并计算是一件很复杂的事情，所以频谱仪功率测量选件设计了信道功率自动测试项目，用户只需输入信号的中心频率和带宽，频谱仪就能自动测算其信道功率和功率密度。

◆ 自动信道功率测试

第一步

将被测信号接入频谱仪，如果信号功率较高，应考虑使用适当的衰减器。

第二步

输入信号的中心频率，并设置适当的SPAN带宽和参考电平。

第三步

开启频谱仪的测量模式，选择Channel Power测试模式。

第四步

输入信道中心频率（一般仪器会自动引用当前工作的中心频率，所以不需要再次输入，除非需要改变频率）。

第五步

输入指定信道带宽，有的频谱仪会自动识别信号设置带宽，当然也可以手动设置带宽。

第六步

读出频谱仪测试结果，如Channel Power= 0dBm/5MHz。这是一个典型WCDMA信号的信道功率，带宽为5MHz，功率为1mW。如果用户已使用了外接衰减器，那么实际计算功率时应该加上衰减器数值。

邻道功率ACP (Adjacent Channel Power)测试

邻道功率是指发射机发射主载频信号时对相邻信道的影响，即射频能量泄漏到相邻信道中。过高的能量泄漏到相邻信道中会对相邻工作系统造成干扰，影响相邻信道的正常通信，所以邻道功率是评价发射机性能的重要指标。邻道功率顾名思义是测量发射机工作信道相邻的左右信道（也被称为上下信道）的功率情况，相邻信道中测得载波信道泄漏的功率越小越好。

测量结果有两种表示方法，一种是各个相邻信道的功率绝对值，用功率单位dBm表示，另一种是相对主载波信道功率的相对值，用dBc表示。手动测量邻道功率比较烦琐，通常需要先测主载波信道的信道功率，然后再分别测量相邻各个信道的信道功率，最后得出各个相邻信道的信道功率绝对值和与载波信道的相对值。

由于邻道功率测量应用广泛，所以很多高级频谱仪以选件形式提供了邻道功率自动测量模式，这在一定程度上提高了工作效率。在邻道功率自动测试模式下，只需要用户输入中心频率、信道带宽、间隔带宽三大主要参数，就能获得上下各个相邻信道和载波主信道的有关数据。需要注意的是，在标准测试邻道功率时按测试标准要求对输入信号的调制有一定的要求。

◆ 自动邻道功率测试

第一步

按照测试要求对发射机加入适当的调制。

第二步

将被测信号接入频谱仪，如果信号功率较高，则考虑使用适当的衰减器。

第三步

输入载波信道的中心频率，并设置适当的SPAN带宽和参考电平。

第四步

开启频谱仪的测量模式，选择ACP测试模式（有的频谱仪简写为ACPR）。

第五步

在ACP测试项目设置中输入信道中心频率、信道带宽和间隔频率。

第六步

在频谱仪屏幕上读出载波信道的信道功率和各个相邻信道的信号功率与载波信道的相对值。一般各个相邻信道的功率用dBm单位表示，相对值使用dBc单位。如果频谱仪外接衰减器，理论上不影响相邻信道相对载波信道功率相对值的测试结果。

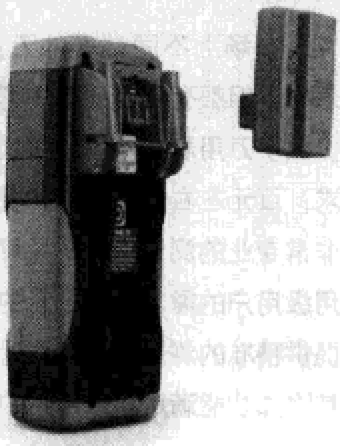
业界动态

安捷伦推出N2750A系列探头

安捷伦科技公司推出新一代低价位1.5GHz/3.5GHz/6GHz InfiniiMode 三态有源差分探头N2750A 系列，特别适合于嵌入式数字电路、系统测试和差分串行总线测试。一个探头同时连接信号正端、负端、地，一次连接就可以测量差分、单端和共模信号，改善测试效率的同时，提高测量精度。

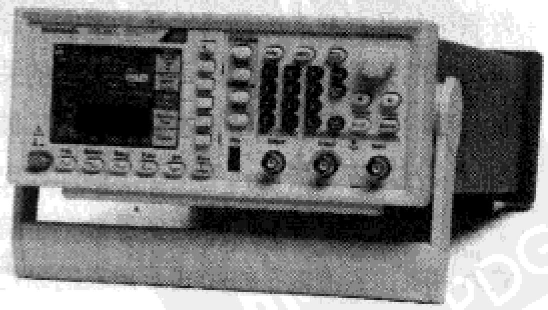
安捷伦推出手持式数字万用表蓝牙无线适配器

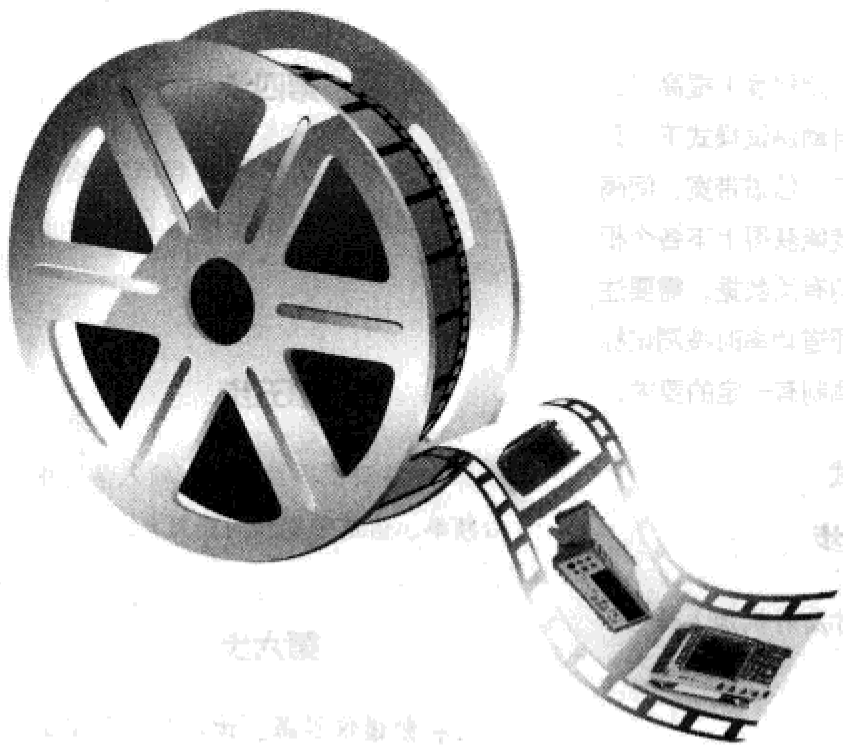
安捷伦科技公司推出一种紧凑蓝牙无线适配器，可插入 Agilent 全系11 种手持式数字万用表，从而将手持式数字万用表与 PC 及移动设备相连接。该连通性解决方案将Android 智能手机或平板电脑变成远程测量、控制和报告设备，帮助工程技术人员在面临复杂或危险的情况时提升工作效率。



泰克推出AFG2021任意波形/函数产生器

Tektronix推出AFG2021任意波形/函数产生器。这款以入门级价格提供高效能信号产生功能的仪器，提供20MHz 频宽、14位元解析度、250MS/s取样率效能等功能，外形轻巧，容易操作，最适合成本导向的教育界和制造业应用。





◇杨法（BD4AAF）

2012年 通用测量仪器市场大盘点

近年来，市场上的各类仪器都在向着数字化、软件化的方向发展着，大量高性能的微处理器、DSP、ADC芯片应用于新一代仪器，颠覆了传统仪器电路的架构。很多入门级的基础仪器展现出小型化、智能化的趋势，目前，主流入门级示波器和频谱仪都较传统产品大为瘦身，真正达到了便携的尺寸和重量。入门级仪器的技术壁垒逐渐被打破，数字化的硬件平台几乎已不存在门槛，核心芯片在市场上可轻松购得，而软件向来难不倒国内厂商，这些先天条件使得更多厂家参与到仪器制造的行列中来。在入门级产品中，国产民营企业的仪器市场份额显著攀升，其外形和操作界面与进口仪器接轨，摆脱了以往笨重、呆板的设计。国产仪器凭借优异的性价比已被大部分国内专业用户和电子爱好者所接受。不少国货精品还远销国外，在国际市场上，中国仪器企业逐步从幕后走向台前，已从前几年的以代工OEM为主发展到自有品牌上市。国产仪器价格不断创出新低，使得一些小公司的研发工作室和个人电子爱好者都有机会购买到价廉物美的国货精品。由于受到国产仪器“雄起”的压力，大部分进口品牌仪器厂商也不得不进行价格调整，尤其是在与国货仪器正面交锋的入门级产品市场上。

2012年很多国外大牌仪器的降价和促销力度是有目共睹的，这也给国内仪器用户提供了更多的选择空间。高端无线电仪器目前依然基本被国外大厂家垄断，在通用仪器市场上，安捷伦（Agilent）、罗德与施瓦茨（ROHDE&SCHWARZ）、泰克（Tektronix）、安费诺（Amphenol）、安立（Anritsu）依然是无可争议的第一阵营仪器制造商。一些大企业通过不断兼并仪器界的一些老牌企业和仪器部门进一步巩固自己的实力，拓展自己的产品线。大厂家间持续的技术交锋使得高端仪器向着更高精度、更多功能、更高工作频率发展。以高端示波器为例，大部分高端产品工作带宽可超过6GHz，新款顶级示波器工作带宽甚至已超过60GHz，而这些产品除了具备高工作带宽外，还整合了逻辑分析仪的主要功能，最新的示波器甚至将高性能频谱仪功能也整合在一起，被称为混合域示波器。

盘点一 万用表

万用表是在电子行业和业余电子爱好者中普及率最高的测量仪器，爱好者与万用表的关系几乎就像医生与听诊器的关系。目前数字万用表已基本取代传统机械指针式万用表，新一代的电子工程师和电子爱好者几乎一开始接触的就是数字手持式万用表，主流数字手持式万用表的易用性和廉价性是其致胜的法宝。

市场上不同档次的万用表价格相差悬殊，但都有自己的用户群。十几元的廉价数字万用表基本满足常规简单测量的需求，百元左右的数字万用表已经能够提供非常专业的测量功能，并可满足大部分应用级用户的需求，上千元的数字万用表在提供精准的测量性能的同时，还能够凭借其附加功能满足高端用户的各类需求。

FLUKE CNX 3000系列无线万用表

五位半台式万用表 Agilent U3402A

由2012年上市的手持式万用表可以看出，市场上很多过去应用于中档表的功能已经出现在入门级产品上，这就在一定程度上降低了用户门槛，如自动量程功能，用户只需选择测量项目，而不再需要预估测量量程来选择挡位，这对于新手绝对是一项非常实用的功能。

过去只有在一些进口品牌万用表上才见得到的“新功能”在国货万用表上也得以实现，其中典型的功能是低阻抗电压测量功能和前置低通滤波器功能。低阻抗电压测量功能是在测量电压时提供一个较低的输入阻抗，它可以有效消除某些测量中电压虚高的情况（如一些电池电压源的测量）。低通滤波器功能则可以有效滤除线路测量中高频谐波带来的影响和干扰，在测试电动机和汽车应用中非常有用。

除了廉价手持万用表外，很多入门级产品的显示分辨率都在传统三位半显示的基础上提升到四位数及以上显示，这样做是因为有很多消费者在选购万用表时将其显示数字位数的多少看作产品性能的主要标杆。

在入门级手持万用表中附加的测量功能往往多于高端产品，很多用户，尤其是个人电子爱好者，都希望花尽量少的钱买到功能尽量多的产品。很多万用表在传统二极管测试、三极管β测量等功能外，增加了频率测量、电容测量以及温度测量功能。在品牌方面，国产的优利德、华谊、胜利依然是市场上认知度和销量最大的国货品牌，进口品牌中，福禄克（FLUKE）依然稳坐手持数字万用表头把交椅。此外，FLUKE的万用表校准仪也是业界绝对的王牌。

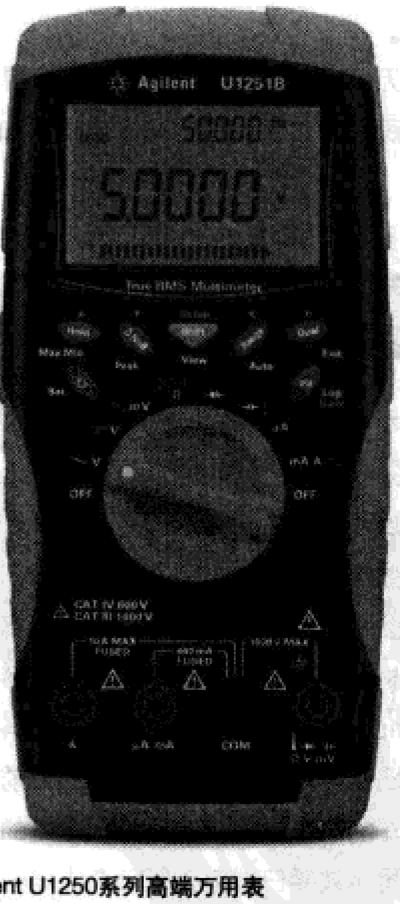
虽然安捷伦近年来开始涉足手持万用表市场，推出了多款中档和高档手持万用表（尤其2012年陆续推出了一系列新产品），但在用户心目中尚没有达到FLUKE品牌的高度。Agilent高端的U1250和U1270系列配备了OLED显示屏，在液晶显示的可视角度和美观性方面都有突破。

FLUKE品牌的常规顶级手持数字万用表自从189/187升级到289/287后并没有新的动作，高端产品维持产品的稳定性很重要。FLUKE 289/287与前一代189/187相比在显示屏方面改用了1/4VGA的点阵液晶屏，使得万用表上可以直接显示测量曲线和多组测量信息，它可以连续记录长达 200 多个小时的多个进程或数据，另外还增加了实用的低阻抗电压功能和低通滤波器功能，并且优化了一些测量量程（包括小电阻量程），增加了分辨率和准确度。FLUKE 289已经从一个传统实时测量仪器升级到了监测仪器。

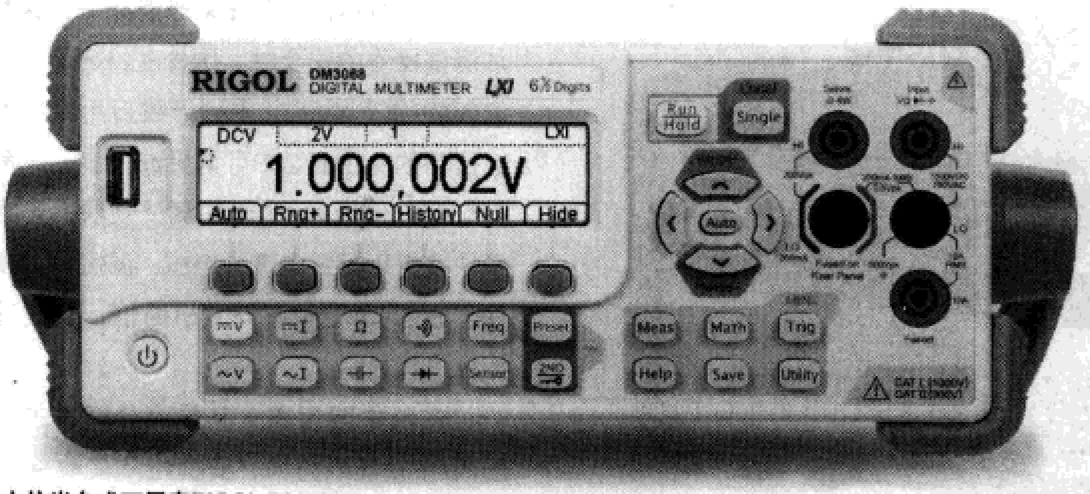
FLUKE 233另辟蹊径提供了特殊的显示屏与万用表主机分离功能，这在某些测试中非常有用，甚至在某些情况下可以增加测试操作的安全性。国外FLUKE已上市最新款的CNX 3000系列无线万用表，相比目前的FLUKE 233可谓更进一步。此系列可以连接最多3个无线测试模块。无线模块按需可配置电流、电压、温度测试模块，以2.4GHz频率与主机通信，实现遥控操作和显示。

在台式万用表尤其是高分辨率的电压表/多功能表方面，安捷伦从其前身HP仪器时代，就在业界打下了坚实基础。台式万用表主打高分辨率，一般都提供五位半以上分辨率，目前最高分辨率可达八位半。以性价比来说，六位半的产品最受用户喜爱，也是市场上机型最多的产品。Agilent的34401A数字多用表是国内应用最多的高精度台式表，其六位半的分辨率，成为很多实验室通用仪器的标配。Agilent U3402A则提供更经济的价格，虽然其分辨率只是五位半，但在分辨率和精度方面仍优于市面上绝大多数的手持式万用表，主要针对预算不多的用户。

FLUKE在台式万用表方面产品不多，在五位半台式数字万用表产品中，其



Agilent U1250系列高端万用表



六位半台式万用表RIGOL DM3068

8808A用来替代原来的F45，延续经济型型号。F45曾是国内科研单位拥有量很高的台式数字万用表，8845A/8846A则是FLUKE主打的高性能六位半产品，当然FLUKE还有其标志性的王牌——八位半的8508A。

过去，高精度仪器都是进口货的天下，近年来以普源精电（RIGOL）为代表的国内厂家也陆续推出了高分辨率的台式数字万用表，RIGOL五位半的DM3058和六位半的DM3068在国产台式数字万用表中绝对算得上精品，界面华丽、接口丰富、功能强劲是普源这几款台表最大的特点。

万用表家族中的新成员是手持示波表，顾名思义，手持示波表就是增加了示波器功能、可以显示波形的万用表。这一产品FLUKE以前便推出过，例如FLUKE 95/97/99，不过由于多种原因，用户需求量很小，市面上也难得一见。目前，FLUKE新款的产品是190 Series Ⅱ系列和彩屏的225C（199C和196C的升级版），这两款产品的性能与功能已升级成手持示波器档次。手持示波表弥补了传统万用表对交流信号测试的软肋，它不但大大拓展了交流信号的测量带宽，还能显示出交流信号的波形，主流的进口手持示波器交流测试带宽可达20～100MHz。

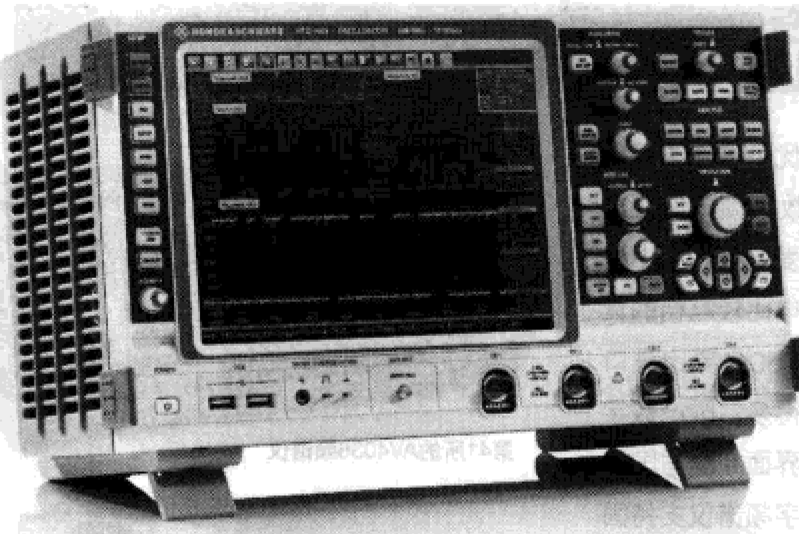
国产手持示波表以优利德UT81B为代表，市场价格在千元左右，相比进口产品虽然性能上弱些，但价格已经便宜很多了。手持示波表有很多弱点限制了它的发展。首先是成本较高，进口产品价格高高在上，以相同的价格完全可以买到同级别、性能好得多的主流示波器，即使是目前市场上价格便宜些的国货也比一般万用表贵得多。除了相对台式示波器的便携性外，示波表在性价比上并不占优。其次，手持示波表整机相对体积依旧较大，真正意义上的便携性会受影响，而且耗电也大，需要经常充电。再次，示波表的示波器性能很一般，除了高端产品，性能和功能尚不能与常规示波器相比，实际上使用示波表只能看个简单波形、测量一下大致频率。手持示波表在常规万用表测量应用最多的直流信号测量方面的优势很小，随着国产示波器的不断小型化和价格下跌，手持示波表需求量有限。

FLUKE 225C示波表

盘点二　示波器

示波器是国内民营高科技企业最早介入并获得巨大成功的产品。经过近几年的发展，国内企业在入门级示波器产品方面已由学习消化阶段进入成熟阶段，并且领头企业已有能力制造出1GHz带宽的中高档机型。曾经被看成中高档示波器分水岭的100MHz示波器工作带宽随着科技的发展已沦为入门级产品的门槛，目前具有100MHz带宽、1GSa/s采样双通道的彩色液晶屏示波器已成为大部分个人电子爱好者的基本配置。一些相对比较便宜的机型市场价格已经降到1500元左右，创近年来100MHz数字存储示波器价格新低。前两年销售不错的500MHzSa/s采样的100MHz带宽示波器已逐渐淡出市场（被采样率1GSa/s的产品所取代），用户对仪器性能的追求永无止境。由于主流入门级数字示波器价格不断下跌，一些中小公司工作室和高要求的电子发烧友已经将采购方向移向更高带宽的150MHz和200MHz带宽的产品，目前一些便宜的200MHz数字示波器价格只在3000元左右。

在国货示波器的低价攻势下，老牌进口示波器生产企业只能放下身段推出低价位的同等机型，目前泰克的入门级100MHz示波器价格仅为4000元左右，200MHz带宽的产品也跌进万元水平。对于成熟的100MHz示波器，国内厂家通过提升界面，增加功能，进一步挖掘潜力。新款的示波器采用更大面积的彩色液晶



R&S的RTO系列高性能示波器

屏，由5英寸屏提升到7英寸宽屏甚至8英寸宽屏。另外，国内厂家还在不断提升示波器存储深度，推出具有深存储功能的产品。市场上具有2M深存储的示波器很受欢迎，有的产品甚至提供10M存储深度。深存储功能尽管不是每个用户都用得到的，但大部分用户都把该功能看成示波器档次的标志之一。过去只有比较高档的机型才提供深存储功能，而廉价机型则通过限制存储深度来拉开产品差距。另外，也有国内厂家推出主打高性能的产品，切实提高了示波器基础性能，如具有低底噪、低温漂以及低过充等特性，提供高波形捕获率和深存储，以及更高的取样率，具有多级波形灰度显示，满足真正专业用户中高端应用的需求，实现优质、优价并不一味打价格战，如RIGOL的DS2000系列就是注重性能的示波器。

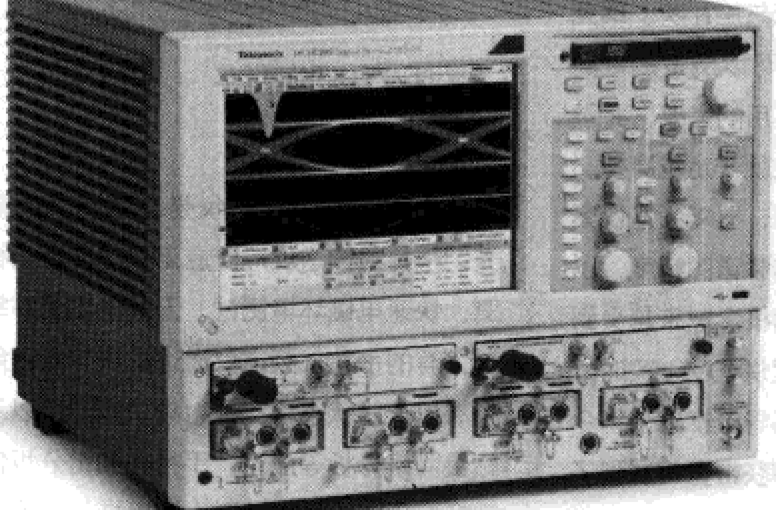
高端示波器方面，由于目前主流应用的数字信号频率不断攀升对示波器工作带宽提出了更高的要求，具有1GHz带宽的示波器目前只能算是中高档产品。高端示波器与传统基础性示波器已有天壤之别，目前主流高端示波器除了具有更高的带宽外，更主要的是具有各种测试模式，满足串扰、抖动、触发、噪声、BER测试和分析。现代高端示波器更像是一台综合的仪器，随着信号工作频率的不断提高，全面观测一个信号除了传统的时域分析外，频域分析也越来越受到重视。高端示波器拥有的频谱分析功能越来越强悍，远非入门级示波器的FFT功能可比，有的产品频谱分析功能的某些主要性能已经超过一些入门级的专门频谱仪，有望以后摆脱实验室分别配置示波器和频谱仪的局面。

泰克新发布的DSA8300在一台仪器中同时实现时域和频域分析，DSA8300模拟带宽可高达80GHz，提供了业界领先的< 200fs的抖动本底和最高的垂直分辨率（16位）。安捷伦新发布的Infiniium 90000 Q系列示波器提供了20～63GHz带宽，并将采样率提升到最高160GSa/s。

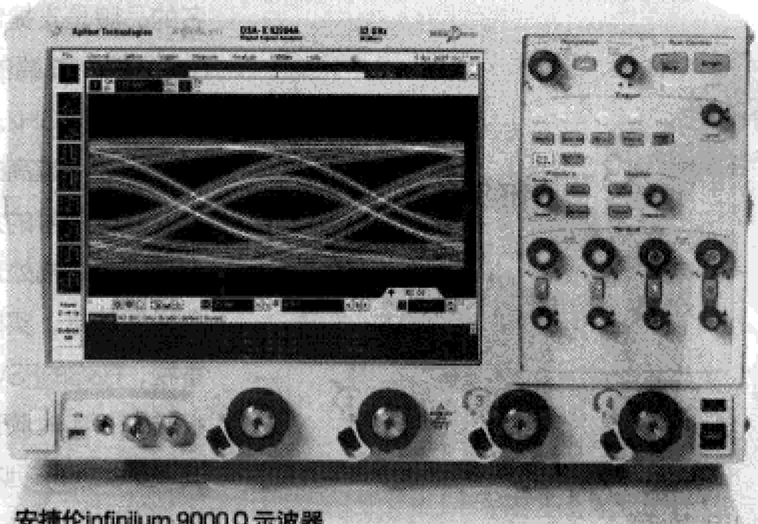
示波器品牌方面，进口品牌中，泰克、安捷伦、力科（Lecroy）向来是业界的头牌，由于进入中国市场的时间和营销方面的原因，泰克和安捷伦在业余电子爱好者圈子里名气更响一些。

德国老牌顶级射频仪器厂家罗德与施瓦茨（R&S）加入示波器行业给业界带来了新空气，R&S主打中档和高档产品，产品具有鲜明的特色。R&S在软件无线电方面非常厉害，用过R&S频谱仪、通信综合测试仪、测量接收机的用户都深有体会。R&S虽然是老牌射频仪器厂家，但特别善于应用新技术，在大部分仪器还在用CRT像管作为显示界面的时代，R&S的一些仪器已开始使用大面积液晶屏。R&S目前示波器中定位中端的RTM采用8.4英寸高分辨率彩色液晶，高性能的RTO系列则标配10.4英寸的触摸彩屏。罗德与施瓦茨示波器独具特色的面板设计和操作界面给用户留下了深刻印象，甚至有些用户认为R&S的外观设计就是一件艺术品。

国内品牌方面固纬、普源精电、鼎阳、优利德、三汇、利利普都是国内示波器行业内的知名品牌。其中有些厂家过去还为国外顶级商家代工过一些示波器产品，现在自有品牌产品已经远销国外并在国外市场上也树立了相当的名气。这些厂家的入门级示波器都可以称得上是国货精品，其产品各具特色，深得个人电子爱好者和中小公司单位用户的喜爱。



泰克DSA8300示波器



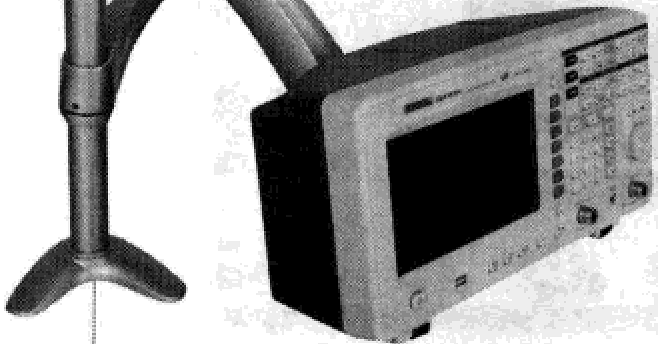
安捷伦infiniium 9000 Q 示波器

盘点三 频谱分析仪

随着无线通信领域射频应用的增加，频谱仪的需求量越来越大，在一些射频应用领域，频谱仪比示波器更有用。2012年，更多的国内企业推出了自己的数字频谱仪系列产品，继入门级示波器后，入门级频谱仪成为不少仪器企业产品拓展的新方向。

如同当初研发数字存储示波器一样，如今仪器企业都看好直接采用数字频谱仪，因为数字频谱仪架构上更容易进行现代化制造，同时可以规避模拟线路频谱仪的很多技术难关。在数字频谱仪上，RBW分辨率可以轻松做到1kHz以下，很多入门级产品都提供精细的*RBW*=100Hz（尽管由于信号处理问题实际*RBW*=100Hz时扫描速度会比较慢）。目前市场上国产入门级频谱仪工作频率范围主要分成1GHz（1.5GHz）和3GHz（2GHz）两个档次，1GHz的频谱仪一般是主打低价位的经济型型号，3GHz的频谱仪一般是主打性能和功能相对高档一些的型号。得益于国际上关键元器件的性能提升，国产入门级频谱仪很多可以提供低于-120dBm的DANL（显示平均噪声电平），这一点已经超过了一些20世纪80年代的进口中档频谱仪。

国产入门级频谱仪的价格相对进口品牌的低端产品依然有很大优势，普源精电推出了万元级的DSA815数字频谱仪在市场上吸引了不少个人电子爱好者和中小型公司用户的目光，普源精电比较高档的具有3GHz工作频率的DSA1030也要比进口品牌的同档次频谱仪便宜得多。国产数字频谱仪的操作界面和显示界面完全与国际主流产品接轨，大部分数字频谱仪支持固件升级和授权开通特别应用功能，诸如授权使用一些自动化测量的软件功能。



DSA1030频谱仪

国产频谱仪除了上面提到的普源精电的频谱仪外，固纬和安泰信也推出了各自品牌的多款数字频谱仪，其中不少也是频率已经达到3GHz的产品。安泰信继续保持其模拟线路频谱仪产品线，该系列产品主打低价位策略，拥有较多的工厂流水线用户。第41研究所作为具有深厚底蕴的国企，在频谱仪制造方面显示出很强的实力，它的产品丰富，包括一些工作频率很高的频谱仪，其中AV4036系列频谱仪最高工作频率可达50GHz，显示平均噪声电平可达-150dBm水平（9GHz以下波段），综合性能基本达到国际水平。新款的手持频谱仪AV4023不仅外形美观，而且工作频率高达18GHz，能够满足从短波一直到Ku波段的现场快速测试需求，在主要应用方面已经基本不弱于进口同类产品。

中高档频谱仪中，国内市场上最知名的品牌是安捷伦、罗德与施瓦茨、泰克3大品牌。高端的频谱仪可以测量的最高频率大于50GHz。根据应用的需要，并不是工作频率越高的频谱仪就一定越高档。高速瞬时信号的大量出现，要求频谱仪具有更高的扫描处理速度和频谱图精度，以免遗漏信息。实时频谱的概念越来越受到重视，R&S的FSVR可以提供40MHz实时分析带宽，实时频谱仪的倡导者泰克公司令其RSA6000系列将实时捕获带宽拓展到了110MHz。

第41所的AV4036频谱仪

泰克YBT250频谱仪

安捷伦FieldFox手持频谱仪

手持式频谱分析仪是当下市场的新宠，手持式频谱仪广泛应用于工程现场检测、快速电磁环境测试、无线电监测等领域，有的手持式频谱仪通过扩展功能还能拓展出天线状态检测、射频功率测量以及标量网络分析等应用。手持式频谱分析仪现场应用需求量预计远大于手持示波器，

R&S的FSVR实时频谱仪

因此多个厂家相继推出自主品牌的手持式频谱仪。如罗德与施瓦茨手持式频谱仪进入中国市场较早，FSH系列产品应用广泛。频谱仪巨头安捷伦推出了多款手持式频谱仪，包括FieldFox和HSA系列产品。FieldFox是一种基于频谱仪为现场快速测量设计的新概念多功能分析测量仪器，HAS为平板式手持频谱仪。泰克YBT系列基站分析仪的核心也是频谱仪，广泛应用在移动通信网络维护、网络优化、干扰排除等领域。

盘点四 电源

可调实验电源是电子实验室最基本的装备，虽然在高科技的示波器、频谱仪面前，电源常常显得微不足道，但在实际应用中往往不可或缺。传统的可调电源采用机械表头指示工作电压和电流状况，通过模拟电位器来调节电压和限流。为了得到较精细的调谐，厂家往往采用多圈电位器，在廉价电源产品中则往往采用大小双电位器串联方式来完成“粗调”与“细调”。在数字化的时代，可调电源不断被“数字化”，首先采用数字表头来显示电压、电流的情况，这类产品被用户称为“数显电源”。进而整个控制电路由单片机来实现数字化控制，这类产品被用户称为“数控电源”。数控电源用户可以通过面板数字键盘直接输入需要设定的电压值，有的产品还允许用户存储常用的几组设定。目前，数显电源已经非常普及，即便是很多廉价可调电源也都是数显工作电压和电流。2012年，更多的廉价数控电源出现在市场上，大有取代数显电源的趋势，数控电源也被很多电子爱好者看成是数显电源的升级版。再进一步就是可编程电源，对控制单元提出更高的要求，有的可编程电源还能与电脑互联。

RIGOL DP800系列可编程多路线性直流电源

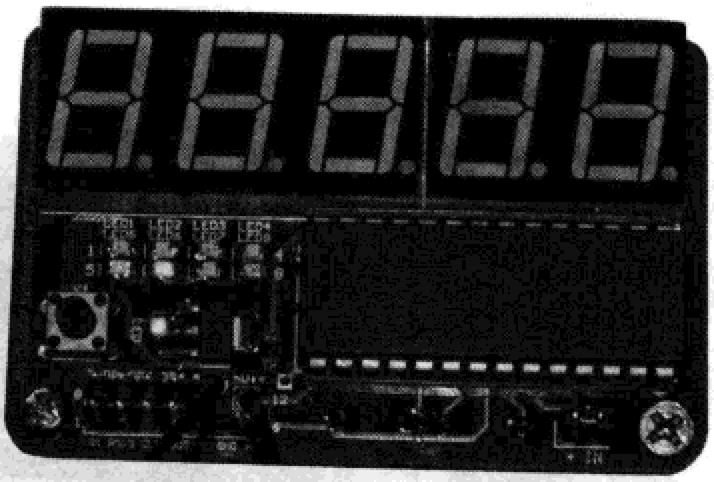
高端电源的完全数控形式只是一个用户界面和控制方式的改变，低纹波、低噪声、高速响应、高稳定度、高解析度、高精度才是高性能电源的实质。高端的可编程电源往往编程分辨率优于1mV和1mA，电压、电流输出具有很高的稳定度。目前市场上真正高性能的电源价格依然很高，大部分被国外进口品牌所垄断。菊水、安捷伦是国内实验室应用最多的高端电源品牌，泰克和R&S也有高性能电源，尤其是R&S，有很多非常高端电源产品，只是价格过高，大众用户一般不敢问津。固纬和艾德克斯（ITECH）也有相当不错的可编程电源，价格上相比进口品牌更平易近人，这种价格优势深得很多中小实验室的喜爱。普源精电在示波器领域取得巨大成功后，继续在频谱仪、信号发生器、电源方面拓展，RIGOL的DP800系列可编程多路线性直流电源具有外形前卫、性能指标优异、接口丰富、功能强劲的特点，已具备与一些进口品牌电源叫板的实力。

目前的实验室电源基本都采用开关电源结构，传统线性电源渐渐淡出市场，随着开关电源技术的发展，现在很多高端开关电源的指标已经可以与线性电源媲美。

新一代仪器发展的主流方向是数字化、软件化，很多传统电路被数字化器件和架构所替代，这也使得新款仪器变得更为小型化、轻量化、智能化。一些手持式仪器，如手持频谱仪，市场需求量增加，成为仪器市场的新热点。随着高速数字信号应用的迅猛发展和更高无线电频段的应用，很多单位的测量仪器都面临升级换代，这也是仪器市场发展的契机。我们欣喜地看到国产品牌仪器巨大的发展与进步，希望在新的一年里，中国仪表企业能保持这种势头，向中端仪器进发。

◇康禹

自制智能型ICL7135四位半表头



最近需要一个精度比较高的电压表头，但网上卖的表头多是三位半的，精度不够，也有一些四位半表头，但性价比不高。正好手里有几片ICL7135，以前也有过制作四位半表头的尝试，而且去年也学习了单片机，于是就有了做一个智能型ICL7135四位半表头的想法。历经2个月的学习、设计和修改，最终做出了这样一款表头，下面就和大家分享一下。

表头使用ICL7135作为ADC，ICL7135是一款高精度的单片4½位ADC，拥有多路复用的BCD输出以及与单片机兼容的控制信号接口，可以很容易地与单片机连接，实现智能化。生产其兼容芯片的厂家有很多，我手里是Maxim和TI生产的。ICL7135应用电路由模拟部分和数字部分组成，表头整体设计思路是：模拟部分采用典型电路和推荐元件参数，数字部分采用单片机提供ICL7135所需时钟、采集输出以及驱动数码管。后来，考虑到只做一个简单功能的表头实在是无趣，所以就将单片机的部分I/O口和串口引出，以便实现与上位机通信或自动控制等功能。

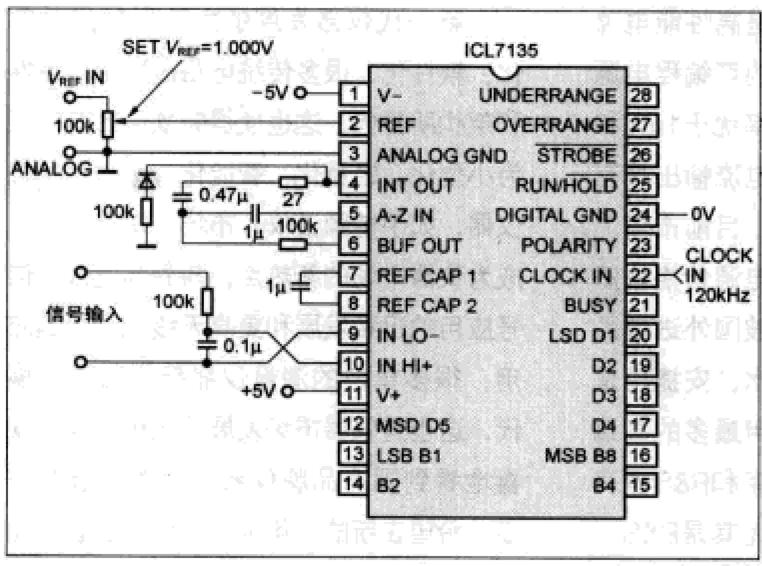


图1 ICL7135电路模拟部分

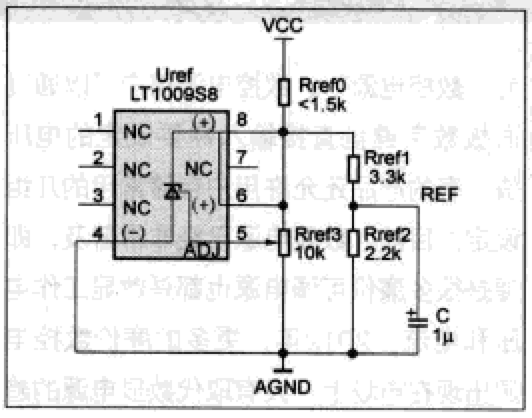


图2 基准电压电路

确定好整体思路和预期功能后就开始进行电路设计了。ICL7135模拟部分的典型电路如图1所示。

模拟部分元件没什么可说的，基本都采用推荐值。其中比较关键的是积分电容的选择和基准电压的提供。

积分电容的选择

积分电容对于ICL7135这类双积分ADC是至关重要的，它直接影响积分非线性、翻转和比例误差，可以说它的好坏直接决定了表头的准确性。而ICL7135对积分电容的要求尤为严格。积分电容必须具有低的电介质吸收特性（亦称浸润或电介质迟滞）。将基准输入（REF）接至IN HI可以检测积分电容介质吸收（此法一般称为自检），良好的积分电容读数将会是9999，与这个读数之间的任何偏差都可能是由于电介质吸收引起的。一般来说，特氟龙（聚四氟乙烯）、聚苯乙烯和聚丙烯的电介质吸收特性低至0.02%，一般陶瓷和聚碳酸酯电容的典型值为0.2%，银云母和钽电容为1.0%～5.0%，铝电解电容高达10%或以上。ICL7135手册上建议积分电容最好使用特氟龙和聚丙烯电容，要求不高时可以使用聚苯乙烯和聚碳酸酯电容。在实际选择时，优质高耐压的CBB21或CBB22电容效果不错，一般自检读数能够达到9996或以上，但是买到能有9999自检读数的电容是很不容易的。我挑选了几批电容测试，读数从9994～9996都有，就是没有9997以上的，比较遗憾。

基准电压的提供

开始的时候，想使用LM385作为基准，但是LM385本身参数并不很好，不同厂家的温漂从20×10^{-6}～150×10^{-6}都有，而且买到正品LM385不太容易。后来在网上搜索了一段时间，发现拆机所得

的Linear公司产的电压基准LT1009很好。LT1009是具有0.2%初始精度、15×10⁻⁶典型温漂、25×10⁻⁶最大温漂的2.5V并联型基准，它有一个调节引脚，可以在±5%范围内调整输出电压。LT1009的性能超过了一般的LM385，而且拆机件能够保证芯片是真品，也廉价。基准电压电路如图2所示，Rref1和Rref2将LT1009输出的电压分压，通过调节电位器Rref3将分压之后的电压调整到准确的1.0000V。1.0000V电压的微调还有另一种比较常见的方式，即只微调分压电阻（由于种种原因我没选择这种方式）。调整电位器要使用如3/8英寸Square Trimpot®微调电位器（3296电位器）等这类精密多圈电位器，以保证精确性和稳定性。

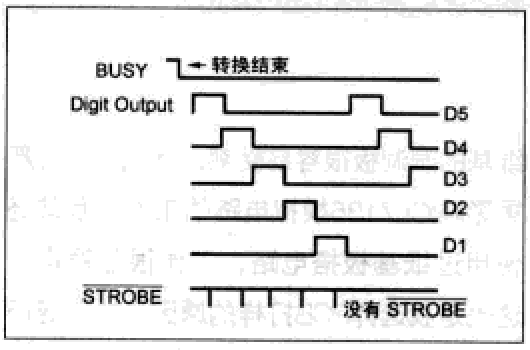


图3 数字扫描和$\overline{\text{STROBE}}$输出时序

单片机的使用

传统的ICL7135表头很多是使用4MHz晶体振荡器经CD4060分频获得125kHz频率，BCD输出用74LS48之类译码，最后再用三极管或达林顿驱动器驱动数码管，电路复杂不说，成本还高。既然要使用单片机，那么就要让其完成所有功能。STC10F04XE是增强型的8051单片机，拥有4KB的ROM，512B的RAM，5KB的EEPROM以及独立波特率发生器，I/O口可设置为多种输出模式，可以实现时钟信号、数据读取、数码管驱动、状态指示、按键控制和串口通信等全部功能。

考虑程序的复杂度，决定采用比较简单的读取BCD方式采集ICL7135数据。以前我也尝试使用Busy信号来采集数据，但并不成功，所以这次并不打算采用这种方式。ICL7135输出数据有5位数字，D5～D1端按顺序分别输出高电平脉冲进行不间断地扫描。B8、B4、B2、B1端输出当前位的BCD值。当一次正常的数据转换结束后，D5～D1重新开始不断扫描（超量程时不是）。每次数据转换后的D5～D1的第一遍扫描过程中的每个脉冲的中间，$\overline{\text{STROBE}}$端都会有一个很短的低

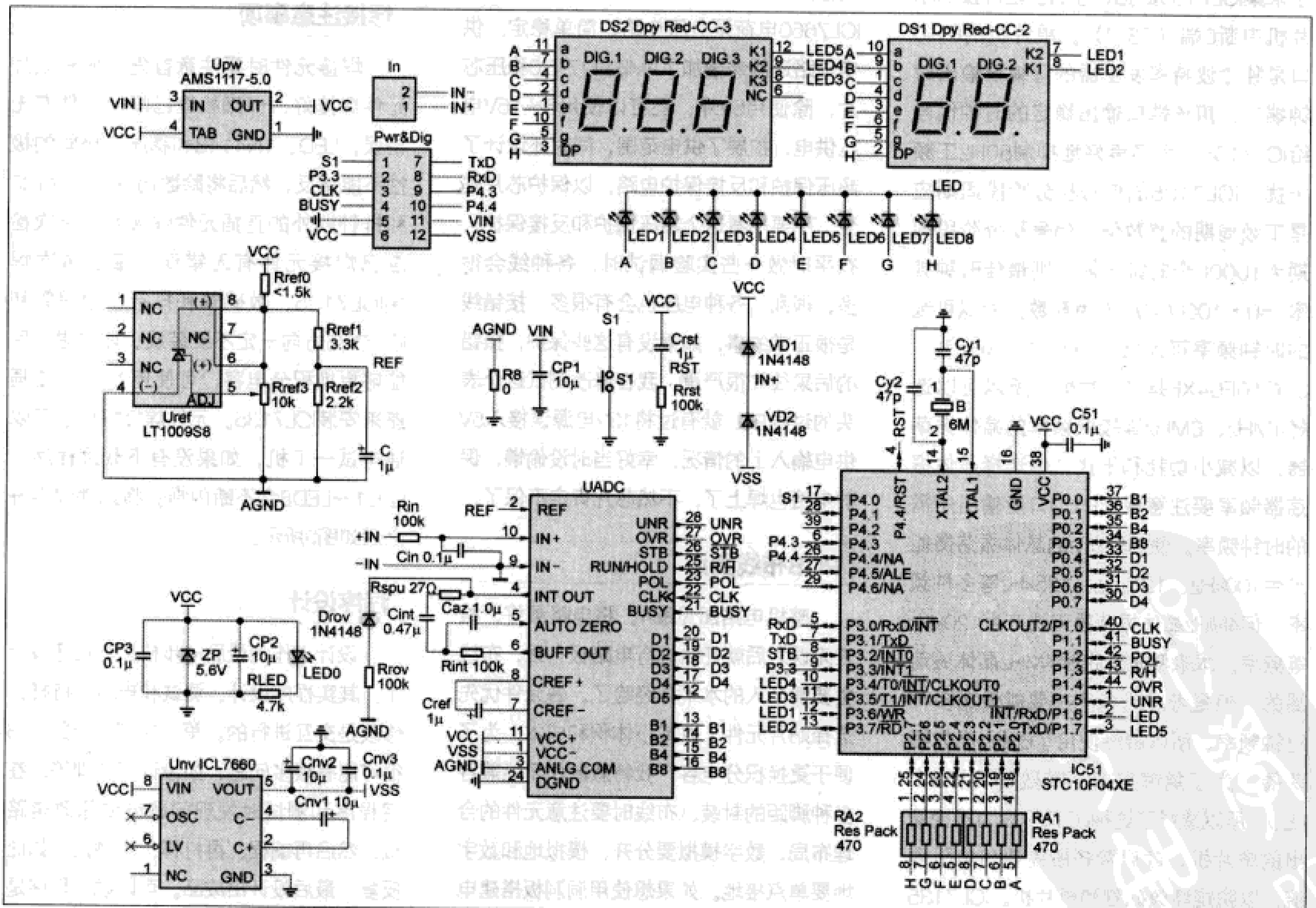


图4 整机电路

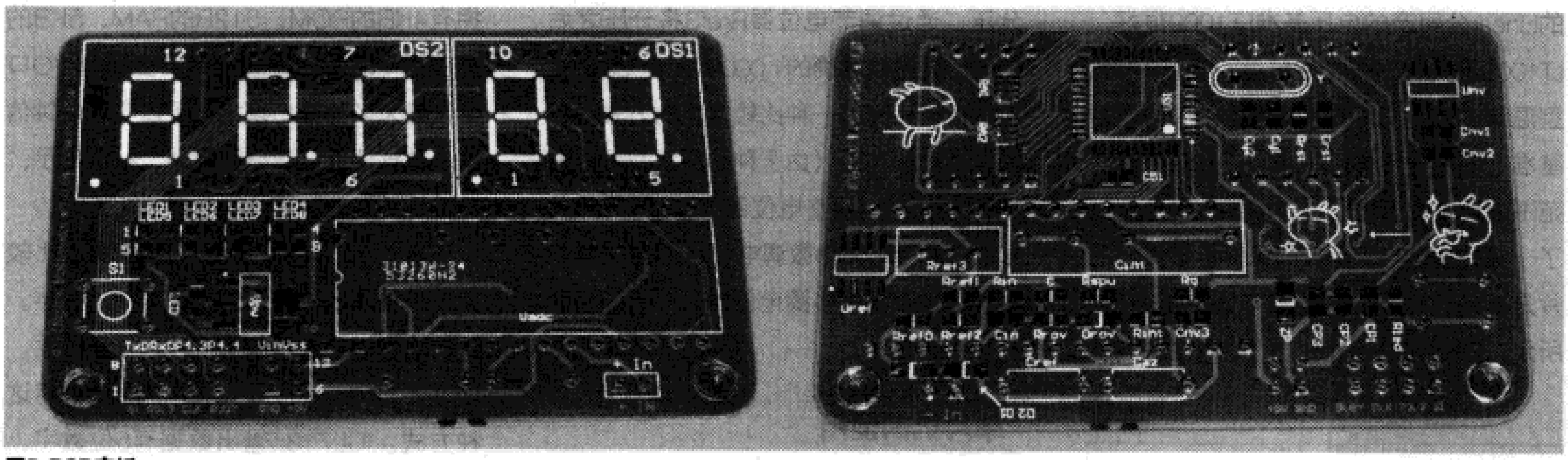


图5 PCB空板

电平脉冲，之后直到下次转换结束前都没有额外的STROBE脉冲。该脉冲能帮助及时采集ADC结果，防止重复采集，简化程序。上述过程的时序如图3所示。

将BCD输出端和D1～D4按顺序连接在单片机的P0口（D5悬空即可），用于采集ICL7135数据，STROBE端接到单片机中断0端（P3.2）。单片机的P1.0口是独立波特率发生器的可编程输出时钟端口，用该端口输出稳定的时钟信号给ICL7135。为了良好地抑制50Hz工频干扰，ICL7135的信号积分阶段周期应是工频周期的整数倍，信号积分阶段周期为10000个时钟周期，则最佳时钟频率=50×10000/*N*，*N*为整数。所以可选的时钟频率可为100kHz、125kHz等。STC10F04XE是TI单片机，所以可以选择4MHz、6MHz等较低频率的晶体振荡器，以减小功耗和干扰，但选择晶体振荡器频率要注意保证P1.0口能输出所需的时钟频率。使用6MHz的晶体振荡器能产生100kHz、120kHz、125kHz等多种频率，但4MHz晶体振荡器无法产生120kHz等频率。本来我是想选择4MHz晶体振荡器的，但是考虑到程序中要能设定多种时钟频率，所以最终使用了6MHz晶体振荡器。为了能够直接驱动数码管和8个LED，所以选择了这种I/O口可设为推挽输出的单片机。数码管各段需要用电阻限流，以防烧坏数码管和单片机。ICL7135的其余端口根据PCB布线的方便性接在单片机的不同I/O口上，在P4.0口设置一轻触开关，同时单片机引出串口、中断1、部分I/O口，以供通信、控制之用。

供电电路

ICL7135通常需要±5V供电，提供双电源实在是不方便，所以采用手册推荐的ICL7660电荷泵负压电路，简单稳定。供电电路还额外增加了AMS1117-5.0稳压芯片，除使用5V外，还可以使用6～15V电压供电，扩展了供电范围，同时还设计了超压保护和反接保护电路，以保护芯片安全。不要小看这个超压保护和反接保护，在平时做一些实验调试时，各种线会很多、很乱，各种电压也会有很多，接错线是很正常的事，如果没有这些保护，接错的后果往往很严重。我在修改测试这个表头的过程中，就有过将13V电源误接入5V供电输入上的情况，幸好当时没偷懒，保护电路也焊上了，不然芯片肯定不保了。

PCB布线要点

整机电路图见图4。将电路画好、检查无误之后就开始进行电路板布线，布线主要看个人的水平和经验了。各元件优先选择贴片元件，以减小体积和成本，为了便于更换积分电容，我特意制作了能兼容多种脚距的封装。布线时要注意元件的合理布局，数字模拟要分开，模拟地和数字地要单点接地。如果想使用洞洞板搭建电路，那就要注意不要使用纸基的洞洞板，纸基的洞洞板很容易受潮，漏电大，会严重影响ICL7135模拟电路的工作。我曾经使用过纸基板搭电路，工作很不稳定。这也是我选择PCB打样的原因之一。经历两次打样和修改后，最终的PCB如图5所示。

焊接注意事项

焊接元件时要注意首先将所有贴片元件焊接好，仔细检查已焊接元件有无错误，LED、1N4148和稳压二极管的极性不能接反。然后将除数码管、ICL7135和排针以外的直插元件焊接好，再次检查已焊接元件有无错误。最后依次焊接ICL7135、数码管和排针，数码管和ICL7135方向一定不要装反。如果想日后能够更换积分电容，可使用28Pin的IC插座来安装ICL7135。元件焊接好后，可以通电试一下机，如果没有下载过程序，LED1～LED8会不断闪烁。将元件焊接好之后如图6所示。

程序设计

设计工作的最后一步自然是程序设计了。其实程序设计、测试和电路板打样、修改是交互进行的。第一次打样出的PCB很可能有很多问题，如设计不合理等。在写程序和测试时发现问题就要修改电路板，然后再编程、再打样、再测试，如此反复，最后设计出成品。可以说，程序是整个作品的灵魂，因为表头的全部功能都

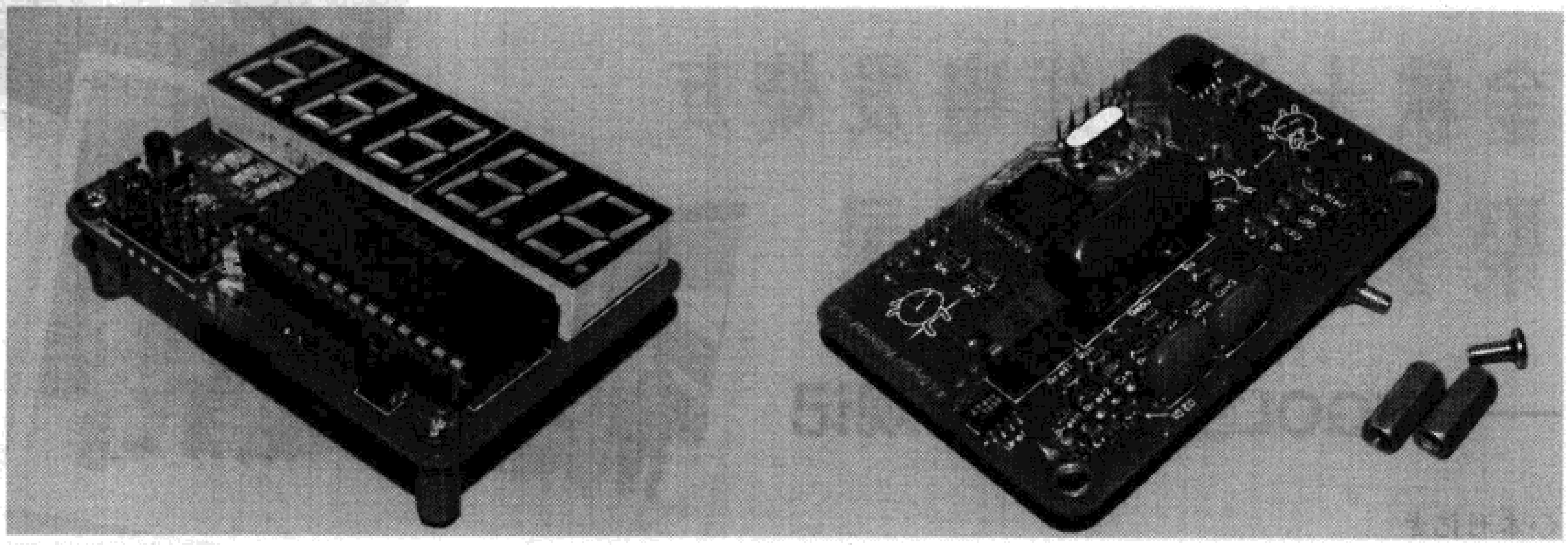


图6 焊接好元件之后

体现在程序上，程序的好坏直接决定了作品的成败。我花了很长时间来设计这个程序，也尝试使用了一些以前未曾用过的程序结构，得到了比较好的效果。整个程序最关键的自然是ADC数据的读取和显示。最初我没有使用$\overline{STROBE}$信号和中断，结果数据读取不及时，有时还会丢字或者是重复读取，而且还不好与显示函数协调。经过反复尝试和研读ICL7135手册，最后利用$\overline{STROBE}$的电平脉冲信号产生中断来读取和更新数据。读取ADC数据后结束中断返回正常运行，由于读取数据过程很短，不影响显示正常的显示、通信和控制，同时也节省了单片机资源，简化了程序。把主要的做好，其他的功能逐步添加就可以了。

由于单片机的功能很强，同时也有EEPROM，可以方便地存储数据，所以我设计了一个菜单来方便功能的设置，设置数据存储在EEPROM中实现掉电不丢失。现在功能菜单也有了，就可以完全任凭自己的想象力来发挥了，因为MCU拥有无限可能。我目前实现的功能有数据保持、串口发送测量值设定、工作频率设定、小数点位置设定、菜单超时退出和还原出厂设置等。未来要实现的功能有：开关短按功能设置、电压超阈值报警、平均值计算、差值计算、软件校准以及自动控制等。板子上只设计了一个轻触开关，基本够用了。长按按键进入设置菜单，短按按键数据保持。以后要增加短按功能设置，可以更改短按的功能。这个程序也是我第一次使用定时器来进行按键检测，我没有使用常用的软件延时和中断检测法。因为单片机要不断扫描数码管，不能打断扫描太长时间，不然数字显示会闪烁或中断。不使用中断的原因是单片机外部中断资源比较有限，我想把中断1端口预留给以后控制使用，另外程序编写的循环很快，每次循环只扫描一个数码管，这样一次循环的时间就很短，不会影响到按键的判断。程序也有向上位机发送测量结果的功能，如果设置打开了串口发送数据，那么每次测量结束就会将测量结果以BCD码通过串口发送出去。多参考单片机的数据手册，再开动脑筋就可以做出很多很有意思的功能。编写程序的时候要注意I/O口的工作模式，数据接收要设为开漏，数据发送和发送接收口要设为准双向口，数码管段驱动口要根据选取的数码管类型（共阴或共阳）设为推挽或开漏，数码管位驱动口同样，要设为开漏或推挽。

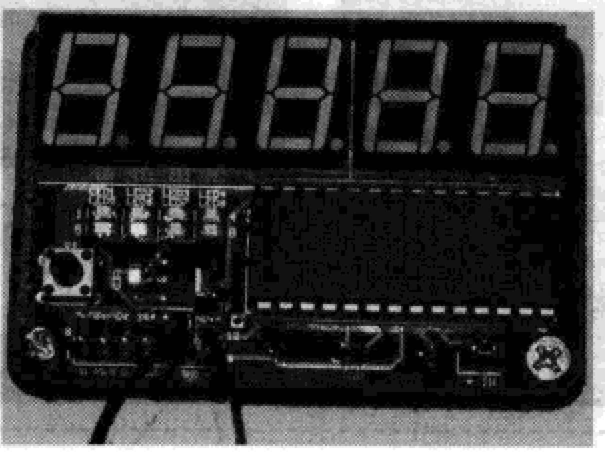


图7 工作中的表头

校准

当程序编写调试完成后，在投入使用前最后一个重要工作就是对表头进行校准，以保证测量的准确性。原则上应该使用4½及以上位数的数字电压表或万用表，将其输入端与表头输入端并联，并输入一个1V左右稳定的电压，调节电位器，使二者显示一致的方式来调整。但是考虑可能没有4½或以上位数的仪表，也可以用精度良好的3½或3¾位万用表来简单调整。

首先对表头进行自检，记下读数，若自检读数低于9995就应该考虑更换更优质的积分电容了。然后使用万用表200.0mV或400.0mV量程电压挡，将其输入端与本机输入端并联，并输入一个100~200mV的稳定电压，调节电位器，使二者显示一致即可。

最后就可以将表头投入使用了。由于我没有更好的积分电容，所以表头精度略差，实际满量程误差是正负十几个字左右，整机耗电在30mA左右。目前工作正常，与上位机通信也很稳定。

■ 关于此四位半表头的程序，感兴趣的读者可以到《无线电》杂志网站 www.radio.com.cn 上下载。

金秋十月无线电发烧友聚会活动全纪录

——RIGOL生产基地参观记

◇本刊记者

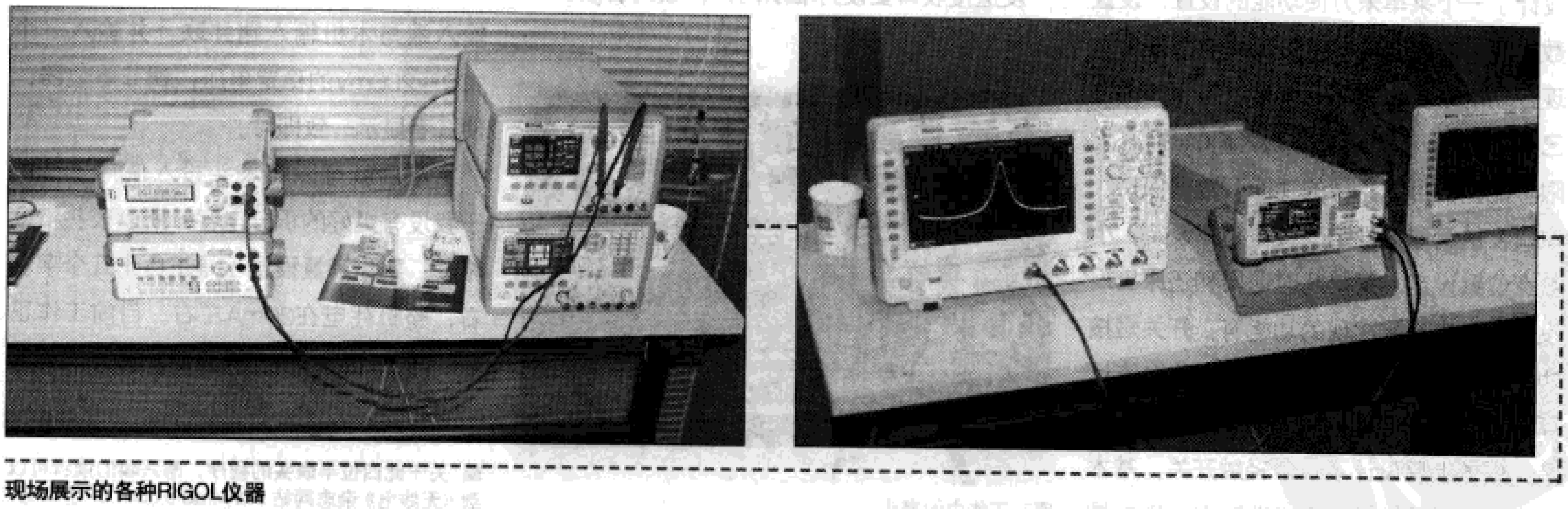
示波器、频谱分析仪等设备一直是无线电爱好者和仪表爱好者们关注的焦点，在这些设备的生产领域，有国际大牌，也有国产精品。为了让更多的爱好者进一步了解国产仪器、仪表的设计与生产情况，以及征询广大无线电爱好者对仪器、仪表功能与改进的意见与建议，也为无线电爱好者与仪表发烧友们同专业仪表工程师创造一次面对面交流、沟通的机会，《无线电》杂志社特联合北京普源精电科技有限公司（RIGOL）举办了一次“金秋十月无线电发烧友实地参观RIGOL生产基地”的活动。

10月27日，一个看似普通的周末，北京已至金秋，十几名无线电发烧友来到了位于北京昌平的北京普源精电科技有限公司（RIGOL）生产基地。这些发烧友有来自网络论坛的仪表资深玩家，也有工作与仪器、仪表密不可分的无线电工程师，甚至还有从事仪表研究、开发的老专家。

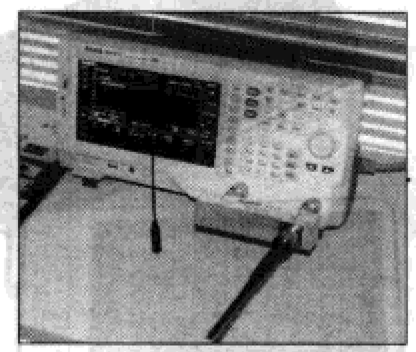
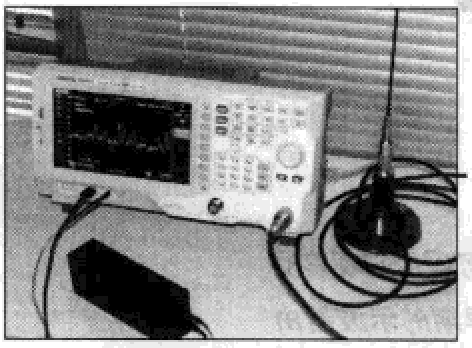
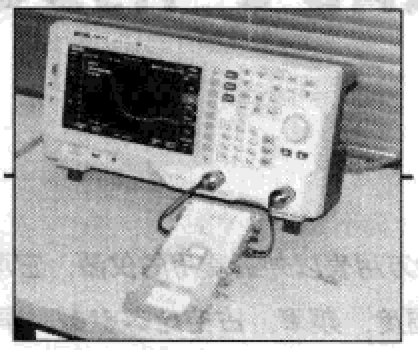
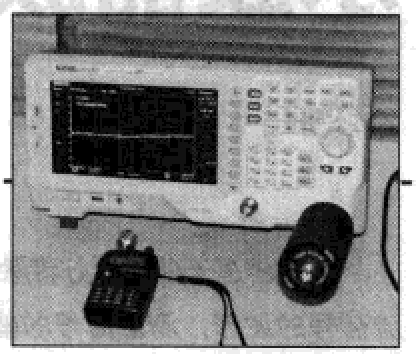
国产仪器、仪表的发展是一个从学习到超越的过程，对普源生产基地的参观，也让我们切身感受到近年来国产品牌仪表的发展之路。普源的展示厅里，从创业时类似DIY的“作品”——RVO2100虚拟示波器，到2002年的批量生产DS3000商业化台式示波器产品，到2008年推出的横扫国内外中低端示波器市场的DS1000E系列高性价比示波器，再到从2011年开始推出并在2012年名声大振的“四大金刚”系列仪表，示波器、台式万用表、程控电源、频谱分析仪……RIGOL产品升级换代的历程为我们展示了一个国产民族测试测量品牌的发展历程。

RIGOL生产基地的制造车间有严格的生产流程，从器件的检测、PCB制板、模具打造、成品组装到校准测试，每个环节都体现着一家现代仪表生产企业对待自己产品和对待用户的严谨态度。不少爱好者是第一次如此近距离地接触一线品牌仪表的生产过程，对这次参观意犹未尽。

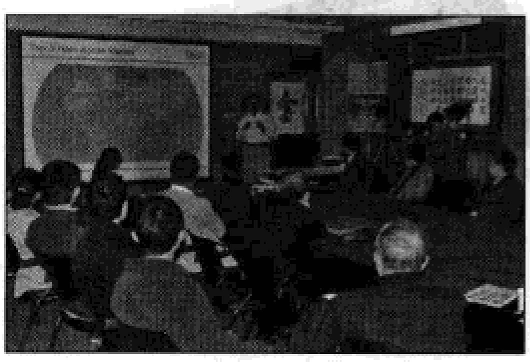
参观生产线只是当天活动的一部



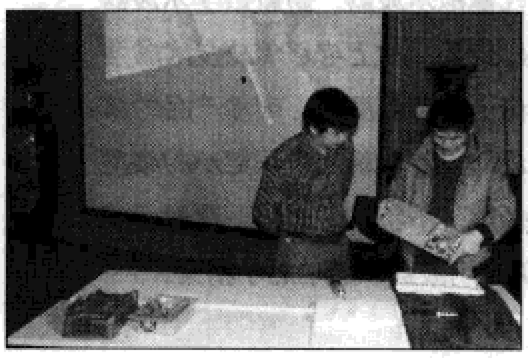
现场展示的各种RIGOL仪器

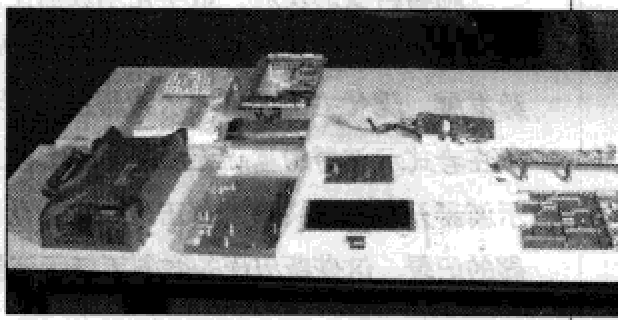
现场展示的不同工作状态下的DSA815-TG



RIGOL副总裁陈振宇（BG1ESR）生动地为参观的爱好者介绍了美国、日本、德国等地著名的无线电爱好者大会的盛况，DSA815-TG在这些展会上得到了国外爱好者的极大关注。



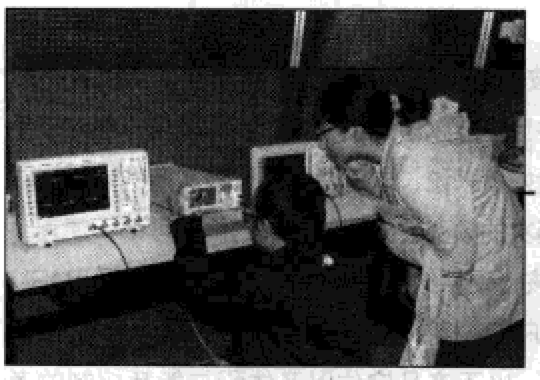
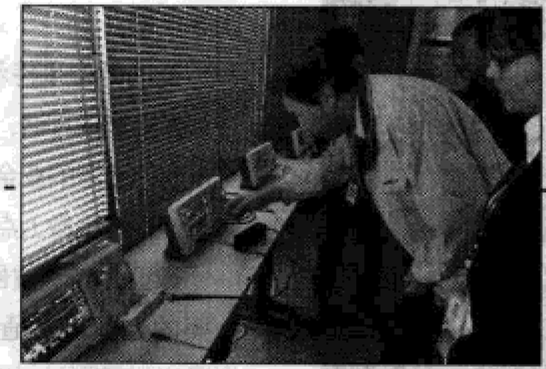
DSA815-TG的项目工程师主持了这次交流活动的核心之一：DSA815-TG的拆解。年轻的工程师用手中的工具，轻巧而又熟练地拧下每一个螺丝，这些动作被一旁的摄影师捕捉之后投放到大屏幕上，而拆解台边的设计师为大家细致地讲解着这台仪器的内部构造和技术要点。



全部拆解完成的DSA815-TG

所有的部件被一件一件地摆放在拆解台上之后，大家无不为这台机器精密的做工感叹。爱好者甚至开始认真地研究起手中的零件，众多爱好者与拆解完的DSA815-TG零距离接触。

拆解现场变成了提问现场，许多爱好者围绕着设计师热情地攀谈，询问他们感兴趣的话题。

无线电发烧友现场体验RIGOL仪器

分，下午开始的拆解大会才是当天参观的重点。RIGOL今年隆重推出的万元级频谱分析仪DSA815可谓在中低端频谱仪市场投下了一枚重磅炸弹，尤其是DSA815-TG，一经问世便受到了众多电子爱好者的欢迎。

全数字中频技术、频率范围9kHz～1.5GHz、显示平均噪声电平（DANL）-135dBm（典型值）、相位噪声-80dBc/Hz（偏移10kHz）、全幅度精度<1.5dB、最小分辨率带宽（RBW）100Hz……以上的数据属于本次拆解环节的主角——DSA815-TG，这样的性能指标为何得到爱好者的如此厚爱呢？能够一睹“庐山”真容，实在机会难得。

之所以邀请无线电发烧友参观RIGOL，还有一个很重要的因素。RIGOL的起步源自RIGOL创立者的“爱好”情结。同许多无线电发烧友一样，他们对爱好的执着坚持、对技术的务实钻研、对市场的大胆开拓，让14年前的一个本土电子爱好工作室发展成为测试、测量行业的民族品牌、国际品牌。

爱好者们，加油吧！

示波器族的小精灵

◇聆听

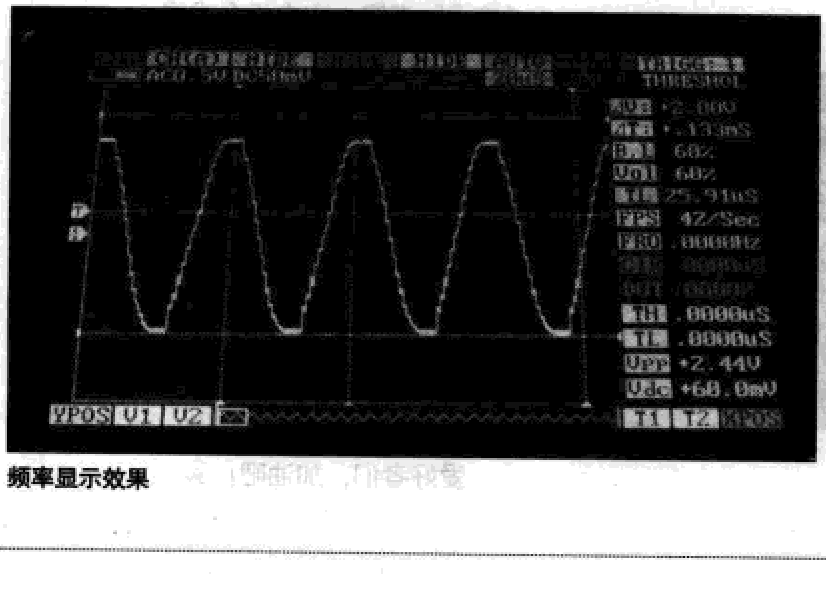
示波器是无线电爱好者除万用表以外最常用的仪器，它可以用来观察交流信号的波形，测量信号的幅度、频率、占空比等参数。早期的示波器由于采用的是余辉管，因此显示体积大、重量重，即便是当时为便携设计的型号，体积都有现在的一台小型电脑主机箱那么大。

随着科技的发展，数字化示波器全面取代模拟示波器，新款数字示波器无一例外地采用彩色液晶屏代替传统的CRT显像管，加上电路集成技术的强势发展，现代主流便携式示波器在体积和重量上大幅度瘦身，很多产品的体积在老式示波器的基础上缩减了60%以上。近期，在市场上体积更小的微型示波器开始崭露头角，真正做到掌上化、口袋化，不断刷新最小、最薄示波器的记录，这些新出现的微型手持示波器可谓是示波器家族中的小精灵。

微型手持示波器的外形与常见的中等大小的MP4播放器类似，多数采用2.5~5英寸彩色液晶屏作为显示装置，内置锂电池，总体重量和大小不及一部移动电话。微型手持示波器拿在手里，如果不开机的话，很多人都会误以为是一部MP3或MP4播放器。

现在的小型彩色液晶屏已经很便宜了，与单色点阵屏相比，在显示效果方面，如显示不同通道的波形、背景基线显示、菜单显示等，彩色液晶屏都有很大的优势，再加上成本相差不多，所以绝大多数厂家都喜欢使用“彩屏”。当然，彩色液晶屏的视角和在强烈光线下的显示效果一直存在问题，不同档次和结构的液晶屏显示效果差距也主要取决于此。厂家选用彩色液晶屏的档次有着成本和性能的折中考虑，这导致了产品在实际使用时显示效果的差异。

虽然微型手持示波器使用的液晶显示屏尺寸较主流便携式示波器要小（主流便携式示波器使用5.6<正屏>~7英寸<宽屏>），但实际分辨率基本相当，大多都具有QVGA或WQVGA级别的分辨率，实际显示效果还是相当不错的。微型手持示波器内置的锂电池通常可以支持1～2h的工作，充电接口与很多小型数码产品一样，采用Mini USB接口，支持USB 5V充电。由于厂家在设计时都比较在意产品的厚度和重量，所以配用的锂电池容量一般都不会太大。



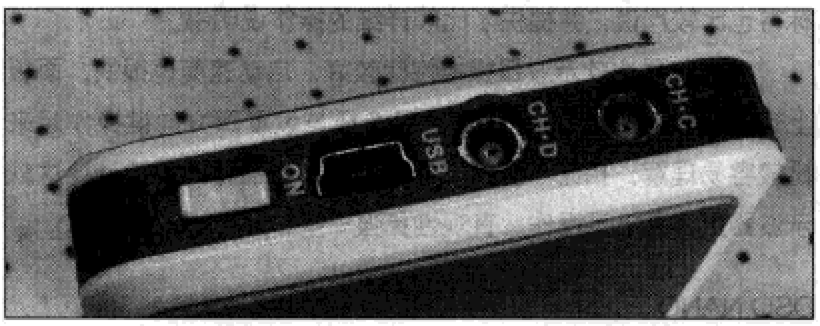
频率显示效果

微型手持示波器属于DSO数字存储示波器，在显示频率较低的信号时较模拟示波器有明显的优势。

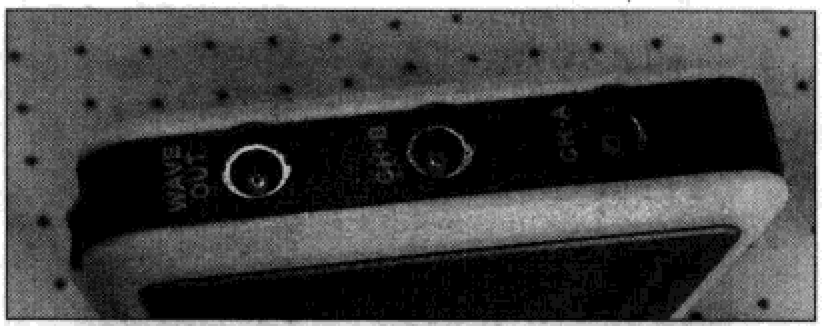
存储功能是DSO类型示波器与生俱来的长处，通过示波器的存储功能可以保存和读取屏幕波形文件。微型手持示波器很多都提供了存储卡扩展功能，这样一方面能充分发挥示波器的海量存储功能，另一方面又能控制内置存储芯片成本，同时还可以通过存储卡将保存的数据转移到PC上进一步分析。作为数字示波器，微型手持示波器具有常规的自动测量功能，在显示信号波形的同时，可以自动测量和显示信号的幅度、频率（周期）、占空比等参数。

有的微型手持示波器还提供了信号发生器功能，虽然并不能做到频率连续可调，并且输出频谱纯度和波形也比较差，但对于手头没有信号源的业余爱好者来说，这还是一项比较实用的功能。要知道，买个稍微上点档次的频率合成型信号源的价格可都不便宜。

微型手持示波器核心硬件结构比较简单，核心通常采用ARM之类的处理器，通过FPGA控制ADC模数转换电路，再配合模拟通道数控放大电路。出于产品定位以及体积与能耗控制的考虑，微型手持示波器通常工作带宽都不大，入门级的产品大多



微型手持示波器充电接口



微型示波器的探头接口

在200kHz～1MHz水平，比较高档的产品最高也在10MHz左右。

微型手持示波器的定位是万用表的拓展应用和示波器的基础应用。大家都知道，对交流信号和小幅度信号的测量一向不是万用表的强项，有了示波器就能进一步对交流信号进行观察。就性能而言，微型手持示波器目前尚不能替代台式示波器和便携式示波器，尤其是测量一些频率比较高的信号时。微型手持示波器最早是国外一些电子爱好者的实验项目，电路零件和IC都是市场上容易买到的通用器件，显示屏和外壳也尽量利用MP4播放器的配件和外壳模具。由于这类试验装置核心软件源代码是开源的，加上硬件集成度高，布线也并不很复杂，所以有一定电子知识和动手能力的无线电爱好者都不难上手制作。从另一个角度来看，这类微型示波器不仅是一台廉价的测量仪器，更属于一台实验性仪器装置，爱好者可以通过它了解DSO数字示波器的基本硬件、结构原理、软件核心思想和经典算法。在硬件或软件方面有能力的高级爱好者甚至可以在标准版的硬件基础上升级部分IC以提升示波器的性能，也可以修改软件和算法来尝试提升性能、增加功能、拓展应用或者改善界面。作为实验装置，其技术、科研的意义已超过了它作为测量仪器的意义。目前国内看到的商品级微型手持示波器有很多用户界面和核心都十分相似，甚至连外壳样式也很接近。有的微型手持示波器还可以刷新不同的固件从而得到不同的操作界面和功能。

微型手持示波器虽然工作带宽不高，但在其他一些指标和功能上还是在向主流专业示波器看齐的。微型手持示波器采样率能达到工作带宽的5～10倍（因为微型手持示波器工作带宽小，所以采样率的绝对数值看上去并不大），垂直灵敏度很多都能达到最小20mV/Div，具有多种自动测量计算功能，诸如频率、周期、占空比以及各种幅度测量，支持游标手动测量和数据读出，具有多种触发设定，可存储记录波形。微型手持示波器应用领域广泛，其工作带宽对于测量音频信号绰绰有余，是设计和制作音频功放的好帮手，可用来观察音频信号失真和放大倍率。微型手持示波器基本可以满足开关电源和逆变器维修的需要，也可用于汽车电子线路的现场检修。另外微型手持示波器价格相对便宜，又具备正规示波器的绝大部分功能，是中小学生电子教具的佳选。

微型手持示波器参数设定要求与传统示波器相同，但限于仪器体积，所以大部分设定都采用操控按键来选择设定，操作起来就像是不具备触摸屏功能的MP4，相比大家熟悉的具有独立功能旋钮的传统示波器要复杂一些，刚开始接触它的人可能会需要一段适应期。微型手持示波器由于受限于整体厚度不大的条件，探头接口多采用体积更小的MCX等接口。

传统示波器的通用探头多为BNC/Q9接口，需要使用接口转换器才能与微型手持示波器连接。微型手持示波器的工作带宽很低，不需要高带宽的高档探头，随机提供的探头已经很好用了。

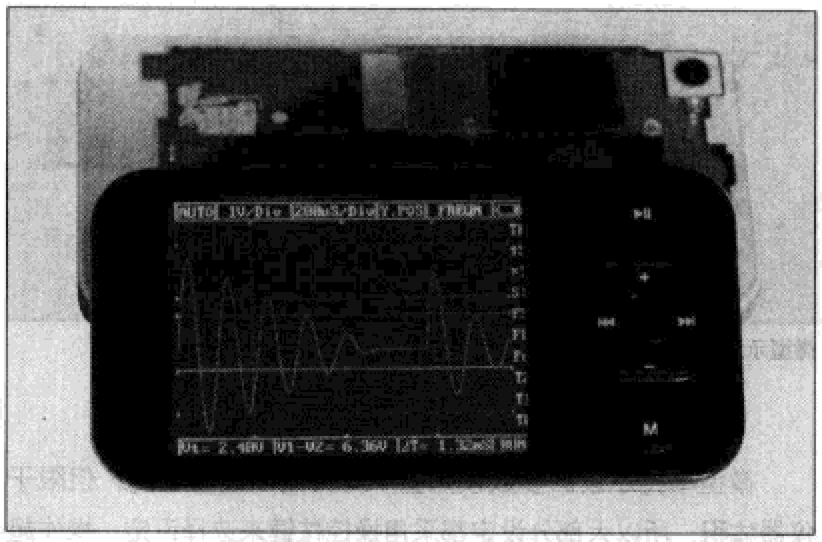
笔者试用了几款主流设计的微型示波器，基本感觉是：显示简单波形效果还不错，如果用来显示一些比较复杂的调制信号，那么很多产品就力不从心了。微型示波器的底噪和热稳定性与正规台式示波器相比还有一定差距，因此微型示波器比较适合现场的快速简易检测，但并不适合精密测量。

笔者认为作为需要观察图形的示波器，显示屏适当大一些对用户观察波形和数据读取都比较有利，如果选用4.3英寸或5英寸宽屏，显示效果会提升一个档次，特别小的示波器实用意义不大。屏幕增大带来的功耗问题可以通过配用更大体积容量的电池解决。此外，如果为微型手持示波器配上触摸屏，那么操作的直观性将大大提升。实际操作可以是触摸屏与实体旋钮相结合，触摸屏主要负责设定项目的选取，具体增减设定可以通过实体旋钮或按键实现，这样的操控方式既直观又传统。

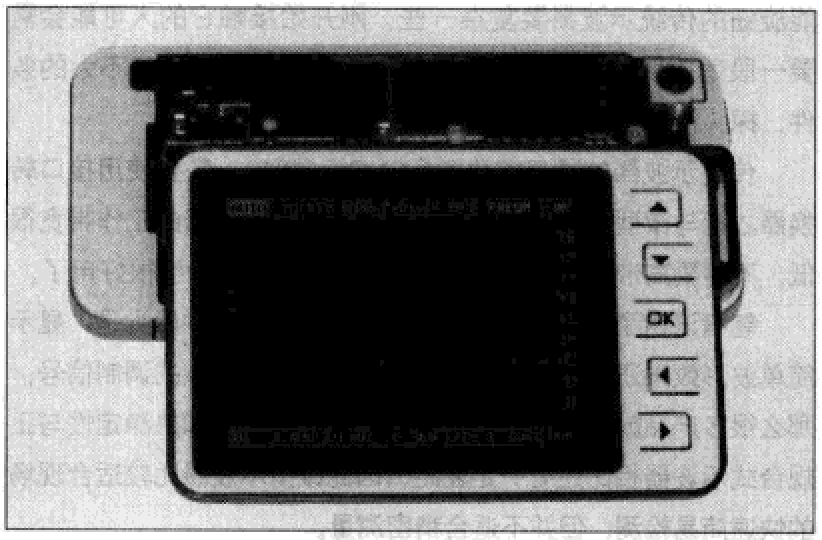
微型手持示波器一览

VICTOR 101

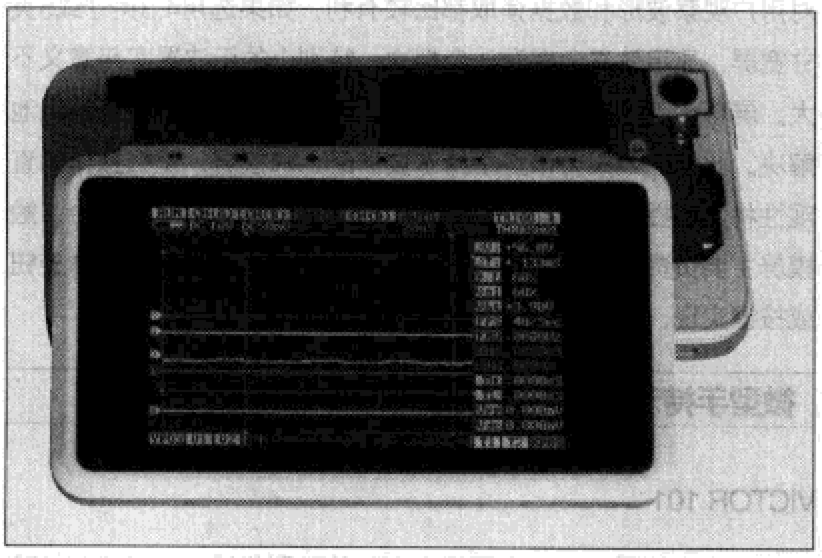
在生产优质万用表方面很有名气的胜利仪器推出了一款袖珍型示波器VICTOR 101。这是一款单通道、最大带宽为200kHz的微型示波器，采用分辨率为320像素×240像素的2.8英寸TFT彩色液晶屏作为显示部件。VICTOR 101最高采样率为1MS/s，这个参数对于200kHz带宽的示波器已经很不错了。200kHz带宽的产品用来测量音频信号和低频率信号比较合适。VICTOR 101具有较高的输入灵敏度，提供最小10mV/Div挡位。功能方面，VICTOR 101提供了主流示波器的自动频率、周期、占空比、多种幅度测



VICTOR 101



DSO NANO



DSO QUAD

量功能，并可选择多种常用的触发方式，通过MicroSD存储卡存放和读取255个屏幕波形文件。作为扩展功能，VICTOR 101提供10Hz～1MHz按1-2-5递进方式、共16挡的方波测试信号，相当于一个固定选频的简易信号发生器。胜利仪器生产的这款示波器虽然性能并不强悍，但可以让用户充分体验DSO数字示波器的大部分主要特性。作为品牌仪器，这款微型示波器做工还不错，参数标得也比较严谨，并提供了比较详细的操作说明书。

胜利仪器这款示波器操控性比较好，启动速度也很快。面板上运行/暂停键、菜单键以及项目选择与设置四方向键操作起来比较容易理解，相比一些将操作键分布在机器侧面的设计，这款示波器更容易上手操作，直观性更强一些。

DSO NANO

SEEED STUDIO的DSO NANO是一款基础型的微型手持示波器，目前已经是V2版本。这是一款标称最大带宽为1MHz的产品，最高采样率也是1MHz，存储深度为4096采样点。DSO NANO采用一块2.8英寸TFT彩色液晶屏作为显示部件，显示效果和视角都还算不错。DSO NANO提供一个测量通道，具有较高的输入灵敏度，具有最小10mV/Div挡位，同时还提供了常用的6种触发模式。此外DSO NANO具有信号发生器功能，可提供10Hz~1MHz之间1-2-5递进的方波信号。在自动测量功能方面，DSO NANO在菜单中可以选择幅度、频率、周期、占空比等参数进行测量，对于基础测量非常实用。DSO NANO有TF卡插槽供波形记录之用，并可通过存储卡将数据转移到PC上进一步分析。

DSO NANO功能简单，操作容易上手，在测试较低频率信号时具有相当的实用价值。对于示波器本身感兴趣的朋友，SEEED STUDIO提供了技术论坛（dso.seeedstudio.com），在论坛上有多种固件和应用程序以及对硬件、软件问题的讨论。

DSO QUAD

SEEED STUDIO的DSO QUAD是一款性能在微型手持示波器中比较突出的高档产品。DSO QUAD标称最大带宽大于5MHz，具有最高72MS/S的采样率，存储深度为每个通道4096个采样点。DSO QUAD具有4个测量通道，外加一个信号发生器输出通道，均采用小型的MCX接口。4个测量通道中的两个为模拟通道，两个为数字通道。模拟测试通道的耦合方式可以选择DC直流耦合与AC交流耦合，在实际测试中AC耦合模式会带来很大的方便。DSO QUAD采用一块3英寸宽屏彩色液晶屏显示，分辨率为400像素×240像素，由于采用了宽屏，在测量数据显示区域方面留有较大的空间。DSO QUAD信号发生器功能较基础型产品有一定的提升，可以提供10Hz~20KHz之间1-2-5递进的方波、正弦波、三角波、锯齿波信号，有点接近函数信号发生器的功能，在方波模式下，DSO QUAD可以提供最高8MHz频率的信号输出。DSO QUAD提供有常规数字示波器常见的幅度、频率、周期、占空比等自动测量，实时显示在屏幕的右侧。内置2MB存储空间用于记录波形数据。DSO QUAD支持固件升级，在其官网www.seeedstudio.com上可以获得相关的最新固件。

DSO QUAD实用性强、体积袖珍，可以作为万用表交流信号测试的好搭档。

面包板入门电子制作（5）

◇杜洋

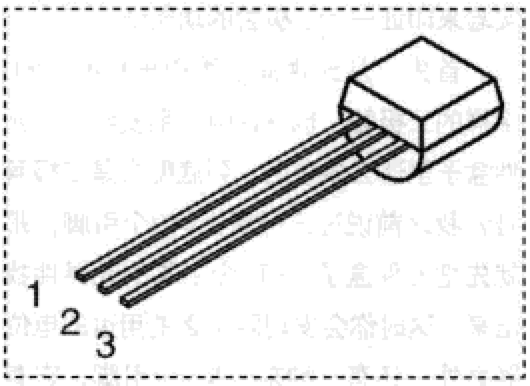
前两期我们学习了二极管的原理和实验电路，以及目前市场上非常火爆的发光二极管。二极管的应用非常广泛，几乎每一种电器里都会有它的身影，可是单凭二极管的单向导电特性演绎不出更多好玩的东西，因为二极管的功能只是让电流在指定方向上流动，不能改变电流本身，也不能在电流和电流之间进行交换和控制。如果想在电路上玩出更多花样，我们需要可以将两种电流进行处理的元器件，这就是本期所要研究的三极管。

电路中的“水龙头”——三极管

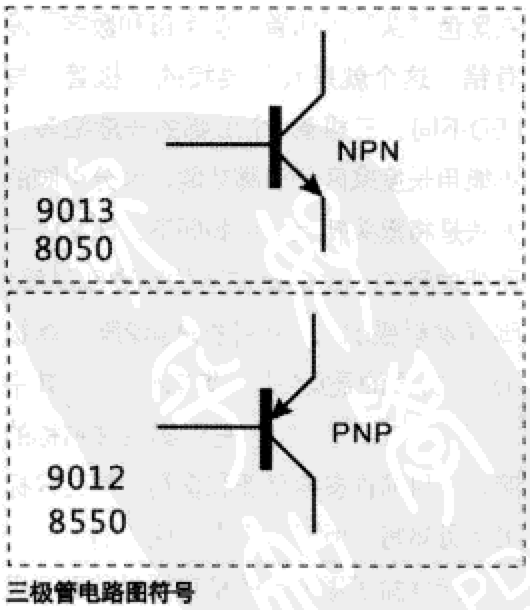
三极管有3个引脚，就好像二极管有两个引脚一样，可以用这个方式来记住它们，但三极管的名字并不是由引脚数量定义的，而是指三极管内部有3个电极。这3个电极分别叫做“基极”（b）、“集电极”（c）和“发射极”（e）。乍听到这些名字感觉好复杂的样子，其实它们的名字和作用很好记忆。要想记住引脚定义，就先要从原理入手。先要知道三极管是干什么用的，它在电路当中扮演着怎样的角色。

为了简单说明这个问题，我先举个生活中的例子。大家都熟悉自来水龙头吧，这就像三极管在电路当中一样常见。我们可以把自来水龙头分成3个部分——水闸、进水管和出水口。水闸是用来控制开关水流的，除了开关之外，只要把它旋转到适当位置，它还可以调节水流大小。而不论流出的水流有多么多、多么急，调节水闸时所用的力都无明显差异。不会因为水流急就要花更大的力量去旋转水闸。进水管，从自来水公司通过层层水管线，最终到达千家万户。自来水公司会使用很大的水泵系统，通过不断给水加压使进水管的水获得压力，这样我们在打开水龙头的时候才会有水流出来。我们每个月要交的自来水费中就有一部分用来支付高压水泵运转时产生的电费。出水口是最终要用到的部分，可以利用出水口的水流来洗脸、洗菜，也会用到水的压力来浇花草、冲马桶或是消防灭火。出水口接在什么地方决定了自来水的用途。在这三部分中，水流的能力来自于自来水公司的水泵，它决定着出水口的最大水流和水压，而实际输出的水流量是由对水闸的调节所决定的。最后，出水口的位置和形状决定了水的用途，在水池边就是洗菜，在厕所里就是冲马桶，接到沐浴喷头就是洗澡，接到消防喷头上就是灭火了。如果自来水公司通知停水，或者你家长期不交水费，那么这个美妙的系统自然也就不能用了。

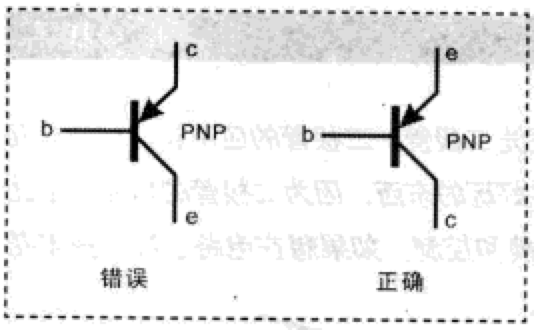
说到这里，你会不会以为自己看错文章，一不小心从《无线电》杂志看到《自来水》杂志上去了呢。其实电子技术和生活常识都有相通之处，自来水的原理就和三极管的原理大同小异。三极管也是由3个部分组成，“基极”、“集电极”和“发射极”。其中“基极”和自来水龙头上的“水闸”相似，是电流开关和流量大小的控制端，“集电极”相当于进水管，连接到具有强大压力的水泵上，电路中的水泵就是电池，“发射极”相当于出水口，连接到用水设备上。在电路中需要用三极管控制的用电器（LED、电机等）



三极管引脚定义



三极管电路图符号



PNP型三极管的易错画法对照

就连接到发射极上。这就是3个引脚的作用，也可从此了解三极管的功能——开关和调节电流大小。只要把电池连接到集电极上，用电器连接到发射极上，再在基极上施加微小电流，就可让集电极的电流流入发射极，使用电器工作，比如让LED灯点亮。再通过调节基极电流大小，就能让LED灯有亮度变化。只需要调节基极那一点微小的电流，就可以实现如此神奇的效果，难道你不想试试吗？我相信守在元件盒边的你已经迫不及待了，那就先来做个实验来印证一下三极管的功能吧。

首先，从元件盒子里取出标有8050字样的三极管。也许这时有朋友会问，元件盒子里这么多东西，到底哪个是三极管呀？我之前说过三极管上有3个引脚，那就先把元件盒子里有3个引脚的元器件找出来，这时你会发现除了之前用过的电位器之外，还有一种东西是3个引脚，它有一个黑色半圆柱形的“头”，并伸出3个等长的银灰色引脚。仔细观察你会发现，在黑色“头”上印着一些字母和数字，没有错，这个就是我们要找的三极管。与LED不同，三极管3个引脚的长度相等，不能用长度来区分引脚功能。区分引脚的方法是将黑头朝上，引脚朝下，印字的一面朝向我们，这时最左边的引脚即是第1脚（发射极e），中间的是第2脚（基极b），右边的是第3脚（集电极c）。其中“e”、“b”、“c”是引脚英文名称的简写。目前许多电路图和资料上都会只标出字母简写，所以一定要记住它们。

元件盒子里所用的是直插封装型三极管，还有更小的贴片封装，因为要在面包板上实验，使用直插封装更利于实验。三极管在出厂时引脚间距很小，幸好引脚的材料较软，可以弯折，在面包板上使用时把3个引脚中左右边的引脚向两侧弯出一段距离即可。另外，三极管印字上标出了生产厂商、型号和生产批次等信息，例如标字为“S8050”，其中“S”是韩国三星公司的英文简写。有朋友问，三星不是生产手机和电视机的吗？怎么会生产三极管这种小东西呢？嘿嘿，看官有所不知，我们所熟知的电子产品生产商都会有生产电子元器件和集成电路芯片的子公司，因为元器件和芯片是组成复杂电子产品的基本元素。“8050”指三极管的型号，有朋友又问，三极管不就是开关和调节电流的吗，怎么还会分型号呢？其实就好像市场上出售的水龙头，也会分很多种类和型号，有家用的洗手池龙头、洗菜龙头、公共厕所用的感应龙头等，根据需要的水量和用途来区分，三极管也是一样，有的具有很大的电流输出能力，有的具有精确调节电流量的能力，还有的可以承受很高的电压。这些形色各异、五花八门的三极管都靠着型号来区分。比如“8050”是最常用的NPN型三极管，那什么是NPN型三极管呢？这个名字的由来涉及“PN结”的相关知识，但是“PN结”的知识对我们应用三极管来说并没有什么影响，有兴趣的朋友可以百度一下。NPN型三极管相当于常闭型水龙头，在没有用力打开水闸时，水龙头是关着的，这是最常见的水龙头样式。NPN型三极管在基极（b）没有电压或接地时，集电极到发射极就是关掉的。这是正常的开关方式，很好理解。还有PNP型三极管，它相当于常开水龙头，平时水一直流出，只有用力旋转水闸才会关闭，手一离开又会继续流水（呃，太浪费了）。PNP型三极管的基极没有电压或接地时，集电极和发射极就是导通的，只有当基极有一定电压（或说电流）时，集电极和发射极才会关掉（注意在PNP型三极管中发射极相当于进水管，集电极相当于出水口）。听上去好像水龙头坏了，但在电路制作中，这两种类型的三极管同等重要。今后的文章当中，我会用实验证明给大家看。

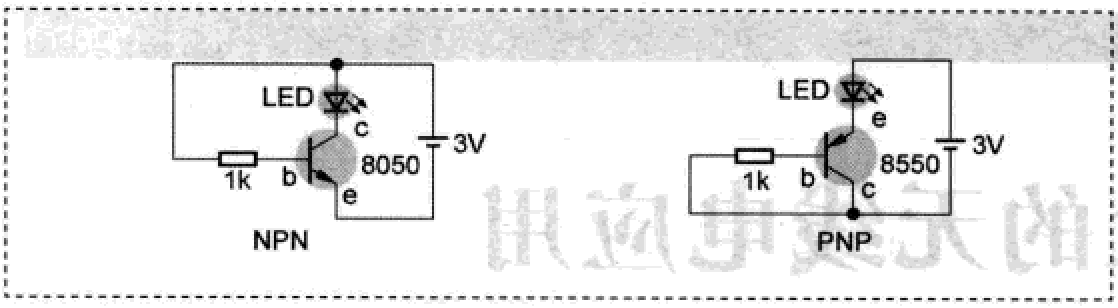
NPN和PNP，名字都是由N和P组成，很容易记错。在这里我分享一个记住它们的方法，NPN型相当于“正常”的水龙头，PNP型是特别场合使用的水龙头。只要记住开头字母是“N”则是“Normal”（正常的），是“P”则是“Particular”（特别的），这一方法既可以记住种类，又可以联想出三极管的工作原理。

三极管的电路符号在前几期中提到过，当时我说NPN型的代表型号有9013和8050，电路符号上的箭头朝外。而PNP型的代表型号有9012和8550，电路符号上的箭头朝内。大家只要记住“正常”（NPN）的三极管箭头朝外就行了。最后，还要注意NPN和PNP型电路符号上引脚位置的不同。我就经常弄错引脚关系，结果在录制教学视频时讲错了，到现在还后悔呢。大家千万注意，不论什么时候，电路符号上标出箭头的那一根引脚永远是发射极e。只是在PNP型三极管上，用发射极e作为电流输入端（进水管），集电极c作为电流输出端（出水口），三极管电路符号上箭头的方向就是电流流动的正确方向。

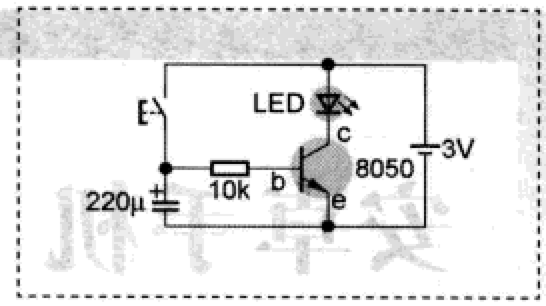
实验与制作

说完基础知识，下面我们来做两个实验。在面包板上按照原理图插接下面两个电路，一个是NPN型三极管基极加电压时点亮LED灯的实验，另一个是PNP型三极管基极接地时点亮LED灯的实验。实验非常简单，所需元器件只有面包板、电池、LED、1kΩ电阻，当然少不了NPN和PNP型三极管。实验目的是让大家体验三极管的开关控制效果，同时熟悉NPN和PNP型三极管在控制电路和原理上的差异。

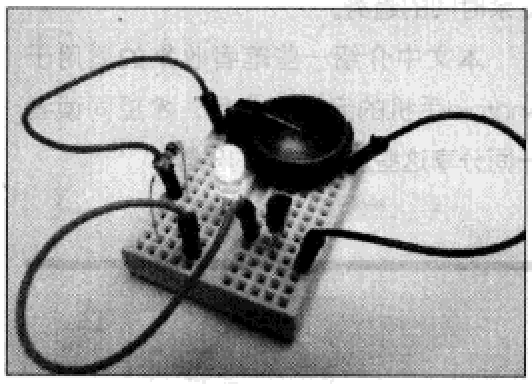
首先来做NPN型三极管的实验，按照电路图和实物照片图接好，这时LED会点亮，就好像把电池直接连接到LED上一样亮。如果拔1kΩ电阻，LED马上熄灭。然



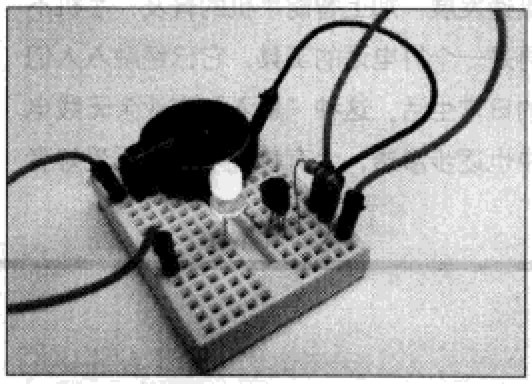
三极管控制LED灯实验的电路原理图



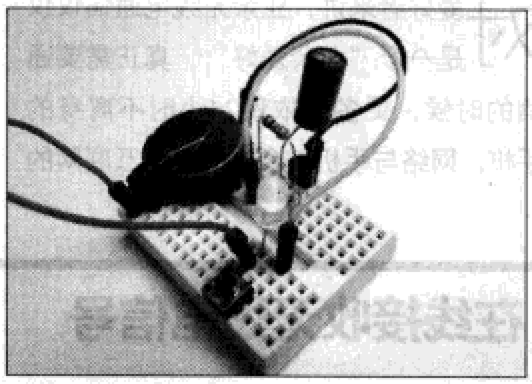
延时灯电路原理图



NPN三极管实验电路



PNP三极管实验电路



延时灯制作照片

后在基极上接上导线，导线的另一端空在外面。伸出你那可爱的小手，轻轻地触摸导线，会发生什么事情呢？非常奇异的现象发生了，LED亮了，亮得很微弱。再用手指用力握紧导线，LED的亮度变大了。原来我们手上有感应电流，利用人体的感应电流照样可以点亮LED灯。在没有三极管的电路中是做不出来的，只有三极管有用小电流控制大电流的能力。

接下来制作PNP型三极管的实验，注意在插接时发射极和集电极在电路中的连接正好相反。如果没有把握，就完全按实物照片上的样子制作吧。制作好后，LED灯也是点亮的，因为基极b与地（GND）连接着。如果拔下1kΩ电阻，LED灯依然点亮，因为基极在不接任何电路时是悬空的，基极上没有电压，所以集电极和发射极导通。我们把基极上的电阻接上，然后把电阻接地一端接到电池正极上，LED灯熄灭。这也就是“特别”三极管的“反向控制”，基极有电流反而关闭。

为什么要在基极上加电阻呢？直接把基极接到正极或接地不行吗？这个问题问得好，我之前说过，电路中的电池相当于水泵，基极相当于水闸。水闸要用手的力量转动，如果你把电池正极直接接到基极，相当于你用水泵的强大动力去转动水闸，后果就是水闸没转动，反而把水龙头弄坏了。所以基极可直接接地（因为接地无电流），但绝不可直接接到电源正极上，虽不会损坏，但不能正常工作。

下面利用更多元器件来制作一个有趣的延时灯电路吧。这是好玩而实用的电路，之前我讲过电容具有储存和释放电能的特性，这个电路就是利用电容充放电特性来控制三极管的开、关的。如果只用微动开关控制，LED灯只会在按下开关时点亮，松开开关时LED灯马上熄灭。而加上电容之后，按下微动开关的同时，电池正、负极正好接到电容正、负极，电容开始充电。当松开开关时，电容里储存的电能通过电阻输入到基极，因为基极是控制端，消耗的电流很小，电容里的电能就一点一点释放，LED灯也就持续点亮。随着电容里的电能越来越少，LED灯也越来越暗，最终熄灭。这一慢慢放电的过程会持续很久，从而实现延长点亮时间的效果（简称延时）。

这是在生活中可以实际应用的小制作，换用白色LED灯，把它摆放在床头柜上。夜里起床上厕所，只要按一下微动开关，LED灯就会点亮照明。等你回来，不需要关它，延时时间一到，它就会慢慢熄灭，制作几个送给亲朋好友，多么新奇又实用的礼物呀。

有朋友按照电路制作之后，可能感觉LED灯亮的时间不够久，希望亮的时间再长一些。请你试着把其他值的电容插到电路中，看看有什么变化，把电阻换成其他阻值，看看延时会不会变长。要想学好电子制作，不断探索是非常必要的功课。在探索过程中你会发现每个部分的功能对整个电路的影响，从此更加深对电路原理的理解。不断尝试的过程中会积累经验，在今后自己独立设计电路时，这些经验都是不可多得的宝贵财富。如果不忙，就多设想、多尝试、多实验吧！让自己更充实、更熟练。

好，本期就先到这里。不过三极管的故事远还没有结束，下一期我将介绍三极管的放大电路，也就是用水闸调节水龙头流量大小的原理和方法。同时给出几个奇妙、好玩的电路，从全新角度了解三极管的那些事。Ⓦ

◇张峥（BG8SF）

安卓手机上的无线电应用

对爱好者来讲，业余无线电通信仅仅是一个“业余爱好”，真正需要通信的时候，更多是依赖24小时不离身的手机。网络与手机结合推动移动互联网的迅速发展，加上智能手机的普及，手机不再是一个打电话的工具，它已经融入人们的日常生活。这种“融入”在业余无线电中也逐步渗透，大有替代电台占据爱好者业余时间的趋势。

本文中介绍一些笔者收集的适用于Android手机的无线电应用，希望同读者一同分享这些应用软件的乐趣。

在线接收无线电信号

>> 无线电扫描接收机ScannerRadioPro

这个应用是在手机上接收来自国外警察、消防队、气象、海洋、公共安全、业余电台的无线电信号。软件界面简洁漂亮，操作很方便。

设定接收电台有4种操作方法：从排行前50名的列表中挑选，根据分类条件浏览挑选，从自己保存喜欢的目录中挑选，还可以设定地理覆盖距离内的电台列表挑选。排行前50名受欢迎的收听列表中，公共安全类的听众最多，特别是警方电台的通信。最高在线收听者有近千人，少的也有近百人，分类浏览模式设置电台可以按地理区域条件选择收听电台所在位置，也可以根据电台类型选择航空电台、海洋电台、业余电台、气象电台、公共安全电台等，或者按照互联网使用习惯，通过网络地址域名选择信号来源，自己喜欢的电台列表可以在收听时进行保存，类似PC浏览器的收藏夹功能，根据电台覆盖范围可以选择距离自己半径一定距离内的电台，并且可以设定“当前离线”的过滤条件。这个功能主要根据手机基站接入位置，采用LBS（基站定位系统）技术来估计当前范围位置，挑选附近的电台信号。不过由于这个应用中的电台列表没有中国区域内的电台，因此按电台区域半径选择意义不大。

爱好者一般喜欢用浏览模式在电台类别菜单中选择“业余电台”进行守听。“业余电台”里可以选择大约15个国家或地区的无线电信号。不过与专业电台相比，业余电台的通信繁忙程度少很多，很久没人出来讲句话。收听时还要注意地区时差的问题，也许我们正在收听时对方还在睡觉，频率上没人呢。

选择好目标电台后，点击“播放”按键，经过几秒钟的缓存等待就可以开始收听了。当前收听电台可以选择文件夹进行保存，也可以把电台信息通过邮件或者其他手机上的应用（微博、短信、蓝牙等）分享给朋友。

推荐指数：☆☆☆☆☆

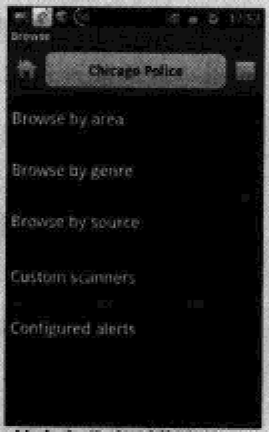
无线电扫描接收机
ScannerRadioPro
http://www.appchina.com/soft_detail_4778_0_10.html

ScannerRadioPro和媒体播放器很像，它居然也有一个“睡眠计时”设定。可以选择10~90min的延时，睡觉前收听电台，用它可以定时自动退出电台的收听，节省手机上网流量。

缺点：应用程序只有英文版，收听的无线电台没有一个是中文的。

（注：在国内收听应遵守相关法规）

下载简介



按电台分类浏览查找

找到的电台列表

缓冲等待收听的业余电台

网络在线对讲

互联网的应用基本都依赖IP技术，VoiceOverIP是互联网上传送语音所普遍采用的方案，PC上很多在线聊天软件都是基于VoIP的技术。手机终端利用互联网进行语音通信可大量节省通信成本，花费很少数据流量费就可以不受地域限制，跨区与互联网上的任意用户进行语音通信。不过由于传输带宽的限制，VoIP对原始语音进行了压缩，通信时不得不牺牲一些语音质量。腾讯公司推出的微信也是VoIP的传输技术。下面看看手机上的VoIP对讲机。

>> 杰克对讲机JackyTalker

推荐指数：☆☆☆

通信双方各自在手机上安装JackyTalker软件。使用时只要通信各方的JackyTalker应用连接的网络在同一局域网网段内，则可以直接进行对讲。一般可以在同一个AP覆盖下的Wi-Fi接入点使用这个对讲功能。如果局域网内信息传输频繁、数据大，可能会让对讲机通信有若干秒的延时。程序界面比较简陋，没有什么菜单可选，仅在底端有一个收听和发射的转换按钮。

杰克对讲机
http://www.appchina.com/soft_detail_196998_0_10.html

缺点：Wi-Fi局域网范围很有限，对讲机通信距离受到限制，用户数太少，几乎找不到可以通话的对象。

简陋的操作界面，发射界面带有广告窗口

>> 局域网对讲机

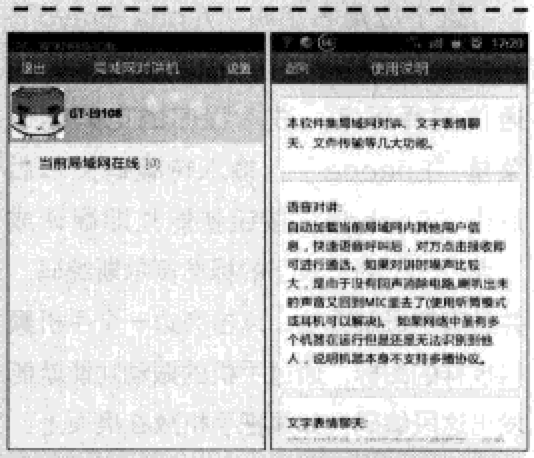
推荐指数：☆☆☆

与杰克对讲机采用相同的方式，在局域网范围内完成语音信息的传送。局域网对讲机操作界面简单、很中国化。局域网中找到在线的通信方，确认后建立连接。可以在程序中设定更换头像和手机的名字，方便标识。

局域网对讲机除了语音对讲以外，还有文字、表情和文件传输的功能，使用起来和短信聊天差不多。同样受到无线局域网覆盖范围的限制，在相邻房间或者楼上楼下能行。距离太远，超出无线局域网一个AP的覆盖范围，路由数据不通，就没法对讲了！就这个缺点来看，还是用腾讯的微信更实用。

局域网对讲机2
http://www.appchina.com/soft_detail_178302_0_10.html

缺点：局域网范围很有限，对讲机通信距离受到限制。



局域网对讲机界面　　**关于局域网对讲机的介绍**

业余无线电应用

“观赏”性质的无线电应用不少，真正有用的业余无线电应用不多，看看下面几个程序是不是相对要更“业余”一些。

>> 手机上的自动位置报告Android APRS

推荐指数：☆☆☆☆☆

这是一个在手机上安装的完全汉化版APRS客户端，通过手机的2G/3G网络就可以把手机内置GPS收到的位置信息发送到aprs.fi的地图上显示。使用这个程序需要爱好者有呼号，并且申请了APRS的验证口令。程序下载安装完毕需要设定呼号、口令、SSID、连接协议、服务器等。“使用网络位置”要依靠手机基

哈罗CQ火腿社区关于APRS软件的介绍和讨论
http://www.hellocq.net/forum/showthread-t-247790.html

站的LBS(Location Based Service基站位置定位服务)定位信息确定当前位置。也就是说收不到GPS卫星信号时，通过移动电话网络提供的基站信息，也可以发出大致的位置信息报告。连接协议选择TCP connection。服务器设置为国内的APRS服务器：china.aprs2.net:14580。

启动APRS报告是需要手动触发点击“发送一次”或“开始记录路径”。根据设定的时间间隔或距离间隔，应用程序会将当前的位置信息通过移动电话网络上传到互联网。同时打开电脑浏览器访问http://aprs.fi/即可查到这只手机的位置和移动轨迹。

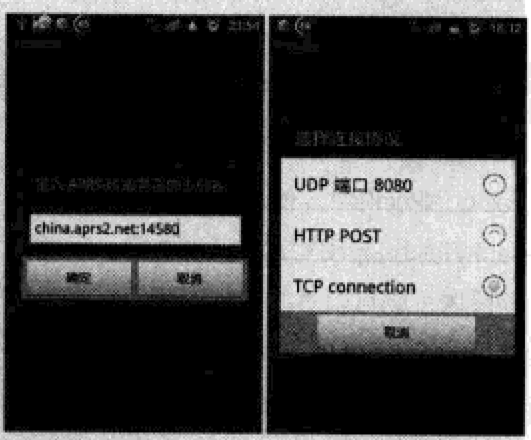
缺点：需要有正式呼号才能使用。

Android APRS的原软件下载
http://aprsdroid.org/download/

手机上查到的附近APRS电台

工作时的数据交换显示

参数设置菜单



参数设置内容

>> 莫尔斯电码编码 Alpha Bravo Encoder morse code edition

这个应用名字叫“Alpha Bravo”好像就是告诉大家，它是一个标准的通信解释程序。进入程序的电码编码菜单“Encode”，输入待编码文本后点击“Encode”按钮就能立即翻译成“点”、“划”表示的标准莫尔斯编码，并且有字母解释法。点击旁边一个手机颤抖模样的图标，通过手机的振动功能就能发出这段编码。如果把手机放在桌面上，感觉整个桌子都在拍发CW了！

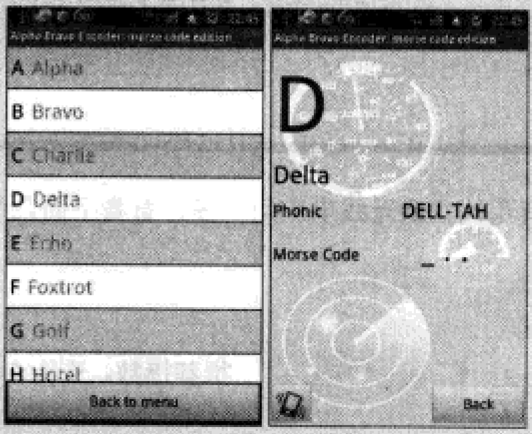
进入程序的字母菜单“Alphabet”，可以查阅26个英文字母和10个阿拉伯数字的莫尔斯编码，还有配套的字母解释法。同样旁边那个手机图标点击后，也可以感受振动发出的莫尔斯电码信息。

缺点：全英文，不能用声音发出莫尔斯电码。

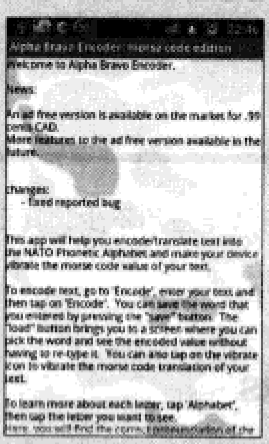
推荐指数：☆☆☆☆☆

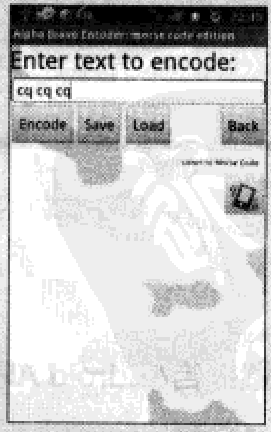
莫尔斯电码编码
http://www.appchina.com/soft_detail_5008_0_10.html

下载介绍界面

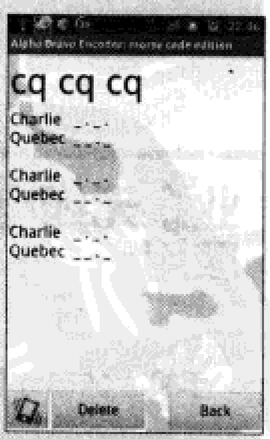


字母解释法+振动学习字母CW编码


程序自述



输入编码原文



编码结果输出

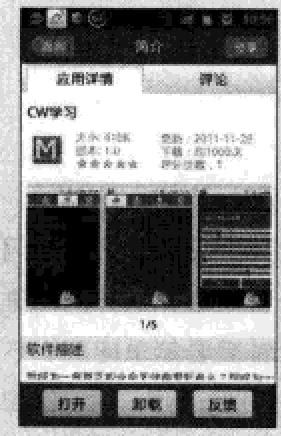
>> CW学习1.0

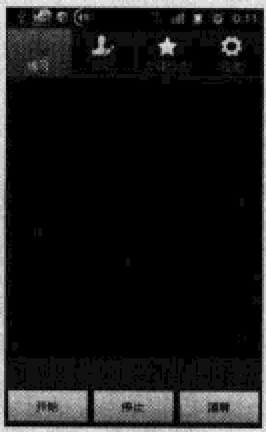
这个应用对初学莫尔斯电码的爱好者很有帮助。它可以让爱好者通过手机进行收听、抄写CW的训练。收听、抄写的内容可以选择使用常用短语、随机字符、模拟QSO情景或者自定义字符电码。在进行练习测试时，可以将听抄的内容记录在手机上，结束时会给出正确答案，与自己抄写答案进行对比。训练时可以选择设定信号强度、背景噪声、干扰噪声、电码发送速度等参数，模拟各种实际应用环境。这对提高训练成绩很有帮助。

缺点：无

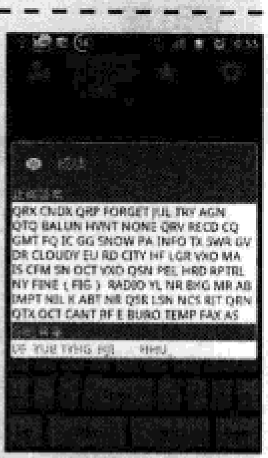
推荐指数：☆☆☆☆

CW学习
http://www.appchina.com/soft_detail_180844_0_10.html

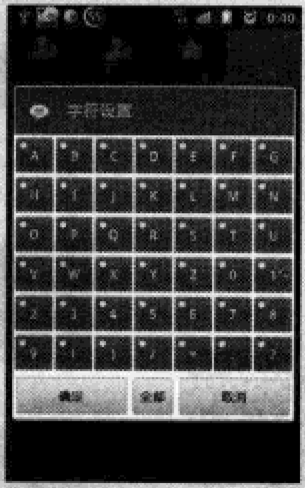

下载界面介绍

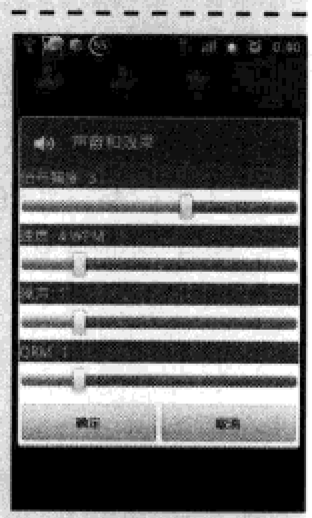

CW学习主界面

测试抄听记录


抄听结果核对

参数设置菜单


训练字符集选择


声音效果设定

>> 莫尔斯电码转发短信MorseSMS

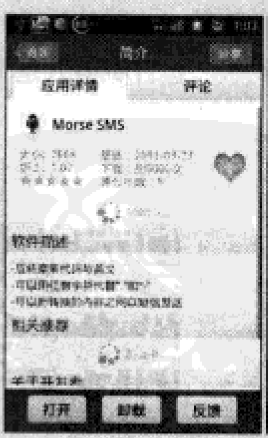
要想将英文字符的电报内容快速转换成莫尔斯电码，可以试试这个程序。打开应用程序，在对话框中输入英文字符电码内容，点击“Let’s Morsse!”按钮，就立刻转换为莫尔斯电码显示。如果喜欢，也可以自己定义字母来代替“.”、“_”的电码表示法。

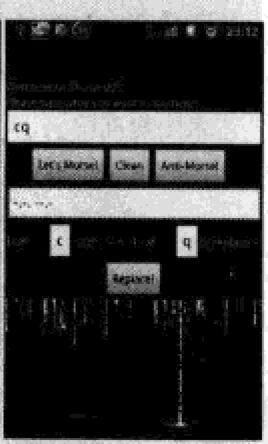
这个应用更有趣的功能是，点击下面那个像《黑客帝国》中的电脑屏幕，就可以将转换好的莫尔斯电码传送到手机短信应用程序中。通过移动电话网络的短信功能，可以将这段电码发短信到别人的手机上。

缺点：界面过于简单，广告图标来回移动，对操作有少许影响。

推荐指数：☆☆☆☆

莫尔斯编码转发短信
http://www.appchina.com/soft_detail_106592_0_10.html


下载简介


操作主界面

炫酷的程序

如果觉得上面那些程序还不能够完全代表你是一个业余爱好者，那么试试下面的程序吧。

>> 电路板动态桌面A Circuit Board

推荐指数：☆☆☆☆

要朋友看到你的手机就能猜到你是一个狂热的爱好者，试装一下这个动态桌面。这是一个可以设置成手机动态桌面的墙纸程序。图片一块虚拟的主板形象，一只44脚的微星PIC16F877-20/PT芯片，2只晶体振荡器，旁边有个不停转动的CPU风扇（看不出风扇下是什么芯片），还有其他更细小的贴片电阻、电容、LED等。动态桌面运行一段时间光线会全暗，风扇也停止转动，似乎是进入了休眠状态。

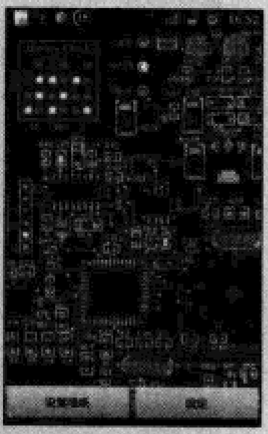
上方3个标志明显的端口：GPS、Wi-Fi、Blue，不时会有LED光线闪动，看来无线功能很全。标注R46、R16、R22、R21、C24、C25的地方还有LED灯光闪动。左上角是一个可以选择点亮的二进制时钟（看这个时钟需要简单回顾一下8421编码），左侧中部标注为J1的6脚焊点会周期性的点亮，亮点的多少决定于手机的电池电量，可以做一个电量指示器。

在设置菜单里可以选择散热风扇的种类、背静效果、LED灯光效果、二进制时钟和显示电池剩余电量等功能。在手机桌面空白处点击主板上的元件，可以意外发现一些互动特效：灯光闪烁、动感变色、风扇停转等，效果很“炫”。

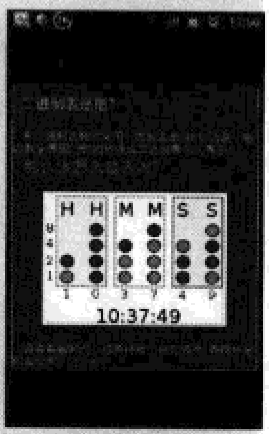
缺点：比较费电。

电路板动态桌面
http://www.appchina.com/soft_detail_1879_0_10.html

下载简介


将电路板设定为动态墙纸

效果参数设定菜单



二进制时钟看表方法

>> 电路板艺术动态桌面Circuitry MWC

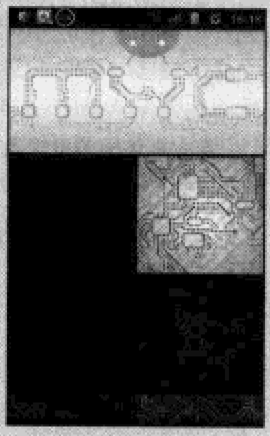
这个软件也是动态桌面，7款不同主色调艺术化PCB设计图。以关键IC为中心，沿芯片脚向四周延展。仅是个做桌面的背景图，没有其他功能。一般外行不一定能看懂这是个电路板，也许觉得只是个艺术图案而已。

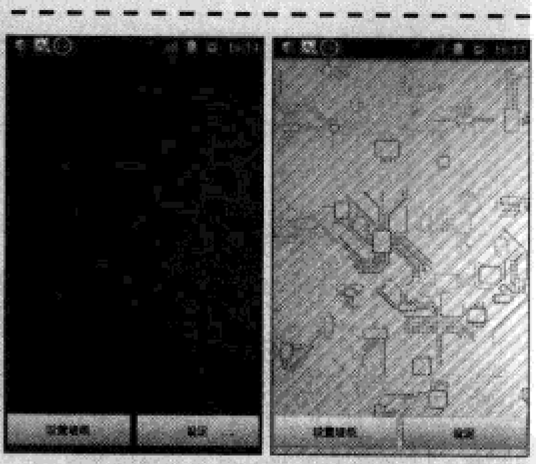
缺点：没什么可玩的花样，费电。

推荐指数：☆☆☆

电路板艺术动态桌面
http://www.appchina.com/soft_detail_6985_0_10.html

下载简介

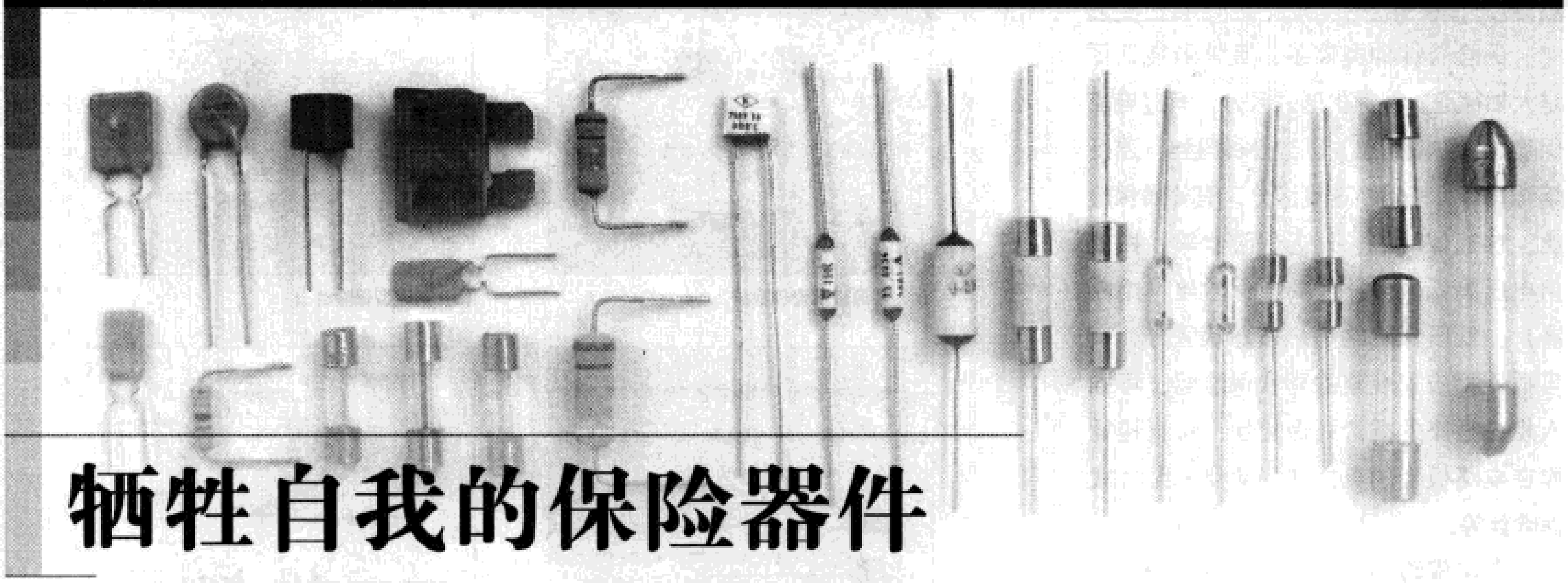

7种配色桌面选择


多色桌面电路板艺术效果

以上介绍应用程序在手机终端经Dr.Web anti-virus Light 6.01.5软件扫描，没有发现安全威胁或隐含恶意程序。不排除其他下载来源或应用程序未来更新不出现新的危险，安装使用前请读者务必备份手机重要信息。

常用元器件的识别与使用（32）

◇张晓东



牺牲自我的保险器件

保险器件主要包括各种保险丝、温度保险丝、熔断电阻器和可恢复保险丝等，在电路中它主要起到过流、过压、超温等保护作用。普通保险丝（FUSE）也称为电流保险丝、熔丝，它是一种最常用的一次性保护器件，其作用是在电子设备和电路因某种原因发生过流时自动切断电源，以“牺牲”自身的方式保护电路中相关元器件免遭损坏。

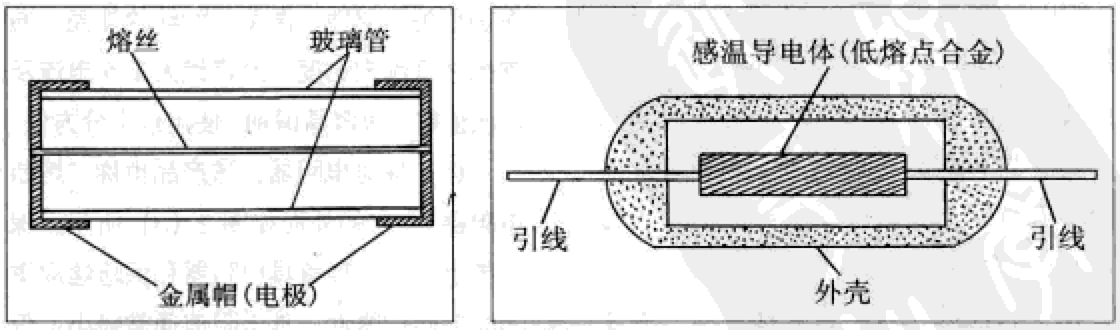
自从19世纪90年代爱迪生发明了第一个插塞式保险丝之后，保险丝的种类越来越多，应用也越来越广。如今，形形色色的保险器件已广泛应用于各种电子设备中，成为各种电子设备和电路中名副其实的“保护神”。正确识别和应用各种保险器件，对于保证电子设备的安全运行十分重要。下面，我们就来认识一下常用的保险器件。

结构及原理

尽管我们常用的保险器件形形色色、各种各样，基本构成也有所不同，但它们的工作原理却大同小异。图1（a）所示是普通玻璃管保险丝的结构示意图，它由熔丝、玻璃管和金属帽（电极）构成，熔丝置于玻璃管中，并与两端的金属帽相连。熔丝由金属或合金材料制成，它对一定强度电流所引起的发热很敏感，可达到“熔断”的目的。图1（b）所示是普通温度保险丝的结构示意图，其外壳内连接两引线的感温导电体是由具有固定熔点的低熔点合金制成，当所处环境温度达到额定动作温度时，便可快速熔断并切断电路。

无论是哪一种保险器件，为了对电子设备或电路的短路和过载进行有效保护，在实际应用时必须串接在被保护的电路中，如果是应用在220V交流电回路中，通常还应强调优先串接在电源相线输入端。这样，在电路或电子设备正常工作时，保险器件相当于一截导线，对电路无影响，当电路或电子设备发生短路或过载故障时，流过保险器件的电流会剧增，并超过其额定工作电流，致使保险器件的熔丝（或其他材料）急剧发热并熔断，从而自动切断工作电源，保护电路和电子设备，防止故障扩大。

由于普通保险器件的保护作用是以“牺牲自身”为代价的，它属于一次性器件（也称不可恢复保险器件），所以一旦保险器件“熔断”，必须在排除电路故障后更换新的相同规格的保险器件。



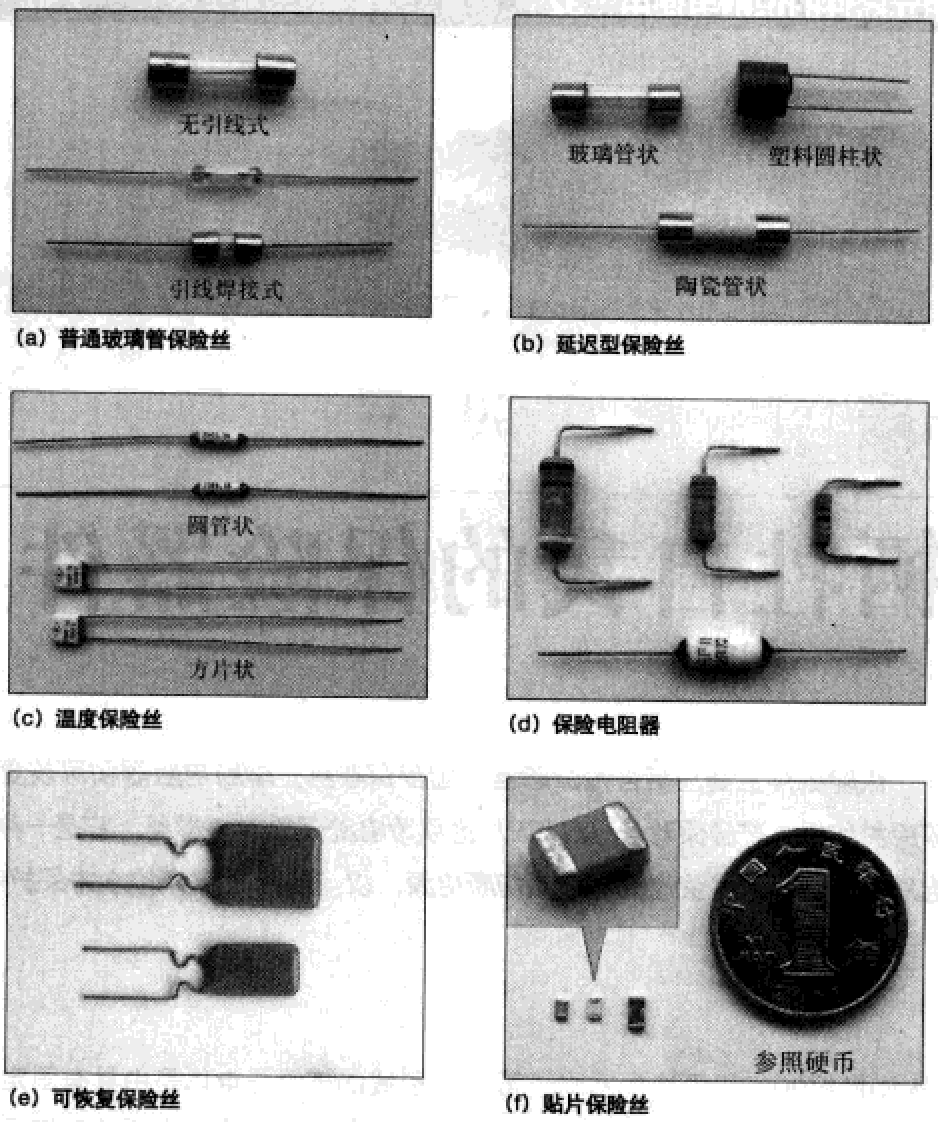
（a）玻璃管保险丝　（b）温度保险丝

图1 常用保险器件结构示意图

外形及种类

保险器件种类较多，其外形特征更是大相径庭。按保护形式区分，有过电流保险丝（限流熔丝）、过热保险丝（温度熔丝）等。按熔断速度区分，有普通保险丝、快速保险丝、延迟保险丝等。按使用电压高低区分，有高压保险丝（熔断器）、低压保险丝等。按形状区分，有可插入相应安装座的管状保险丝、可插入相应插座的插片式保险丝、可直接插焊在电路板上的直插式保险丝和贴片式保险丝等。

常用保险器件的外形实物如图2所示，下面分别对其性能特点加以简单介绍：



(a) 普通玻璃管保险丝　(b) 延迟型保险丝　(c) 温度保险丝　(d) 保险电阻器　(e) 可恢复保险丝　(f) 贴片保险丝

图2 常用保险器件外形图

（1）普通玻璃管保险丝。该产品就是电子爱好者常说的“普通保险管”，它的外形如图2（a）所示，其特点是熔断时间较慢，但价格低廉，应用十分广泛。常用额定电流主要有0.1A、0.15A、0.2A、0.5A、0.75A、1A、1.5A、2A、2.5A、3A、4A、5A、6A、8A、10A、15A和20A等规格，外形尺寸主要有φ3.6mm×10mm、φ5mm×20mm、φ6mm×30mm等规格。一般透过玻璃管可以用肉眼直接观察到保险丝熔断与否。这种保险丝可以直接插焊在电路板上，但大多数情况下都是通过相应的保险丝座配套使用的，以方便更换。

（2）延迟型保险丝。该产品就是电子爱好者常说的“延时保险管”、“延时熔丝”，其特点是能承受短时间内大电流（浪涌电流）的冲击，而在电流过载超过一定时限后又能可靠地熔断。这种产品主要用在开机瞬时电流较大的电子设备或装置中（开机电流往往是正常工作电流的5～7倍），如普通彩色电视机、微波炉中就广泛使用了延迟型保险丝。延迟型保险丝的外形如图2（b）所示，其玻璃管产品的外形与普通玻璃管保险丝几乎完全一样，不同之处在于内部熔丝较粗且呈螺旋状。为了区别于普通保险丝，延迟型保险丝常在其电流规格之前加上字母“T”，如T2A、T3.15A、T4A等。

（3）温度保险丝。该产品也称“过热保险丝”或者“温度熔丝”，它的外形如图2（c）所示。这种产品通常安装在易发热的电子整机的变压器、功率输出管上或电吹风、电饭锅、电钻等装置中。当机件发生热故障，温度上升超过额定动作值时，保险丝自动熔断，使电源切断，从而保护相关零部件。温度保险丝的外壳上通常标注有额定温度、允许最大工作电流及电压值等，很容易识别，使用也十分方便。

（4）保险电阻器。该产品也称“熔断电阻器”，它的外形如图2（d）所示。保险电阻器是一种兼具电阻器和保险丝双重功能的保护器件，其电阻值通常较小，仅零点几欧至数欧，少数为几十欧至几千欧，大都起限流作用，因此它的主要功能还是保险丝。国产保险电阻器大都为灰色，用色环或数字表示阻值，外形看起来跟普通电阻器没什么两样，其额定功率由产品大小决定，也有直接标注在外壳上的。

（5）可恢复保险丝。该产品也称“可恢复熔断器”，采用正温度系数的PTC高分子材料制成，它实际上是一种限流型保护器件，其外形如图2（e）所示。一般的保险丝熔断后即失去使用价值，必须更换新的，但可恢复保险丝可以重复使用。它串联在被保护电路中，在常温下呈现极小的阻值，对电路无影响，当负载电路出现过流或短路故障时，由于通过可恢复保险丝的电流剧增，导致其迅速进入高阻状态，自动切断电路中的电流，保护负载不致损坏。待排除完故障，可恢复保险丝冷却后又自动恢复微阻导通状态，电路也自

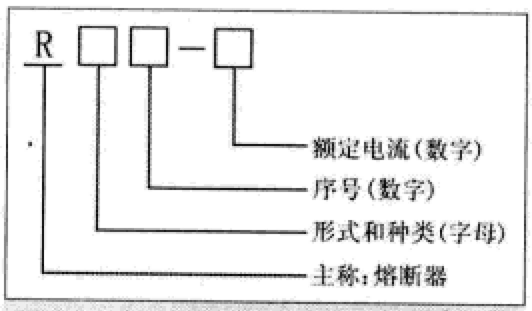


图3 国产熔断器的命名规则

动恢复到正常工作状态。

(6) 贴片保险丝。该产品目前已广泛应用于数码相机、手机、笔记本电脑等便携式电子产品中，其外形如图2 (e) 所示。贴片保险丝可分为一次性贴片保险丝和贴片自恢复保险丝两大类。一次性贴片保险丝在选择时应注意实际工作电流（即常态电流）不得超过其额定电流的75%（称减额系数），同时要考虑其内阻、温升、抗冲击性能，以免影响正常工作。

基本参数

普通保险丝的主要参数有额定电流、额定电压、反应速度等，除此以外，不同功能和用途的保险器件，还有各自特有的参数。例如，额定温度是温度保险丝的一个重要参数，保持电流、触发电流是可恢复保险丝的两个重要参数。

型号命名

国产小型普通保险丝的型号命名方法比较简单，也比较随意，一般多采用“F×A×V”格式，其中“F”表示保险丝（熔断器），“×A”表示额定电流，“×V”表示额定电压。例如：“F3A250V”表示保险丝的额定电流为3A，额定电压为250V。如果是延迟型保险丝，常在其电流规格之前增加字母“T”，如T2A、T3.15A、T4A等，以便区分。保险电阻器的命名多采用“RF××”格式，其中“RF”表示保险电阻器，“××”用数字表示产品序号。可恢复保险丝的命名多采用“MH××”格式，其中“M”表示敏感电阻器，“H”表示保险丝，“××”用数字表示产品序号。

电气设备常用的国产低压熔断器，其型号命名一般由4部分组成，格式和含义如图3所示。第一部分用汉语拼音字母“R”表示熔断器主称，第二部分用汉语拼音字母表示产品的形式和种类，如“M”为无填料密封管式，“T”为有填料密封管式，“L”为螺旋式，“S”为快速式，“C”为瓷插式，“H”为汇流排式，“X”为限流式，第四部分用阿拉伯数字表示熔断器的额定电流，单位为“A”。例如：型号为RT14-20，表示这是一个有填料且密封了的管式熔断器，它的额定电流是20A。

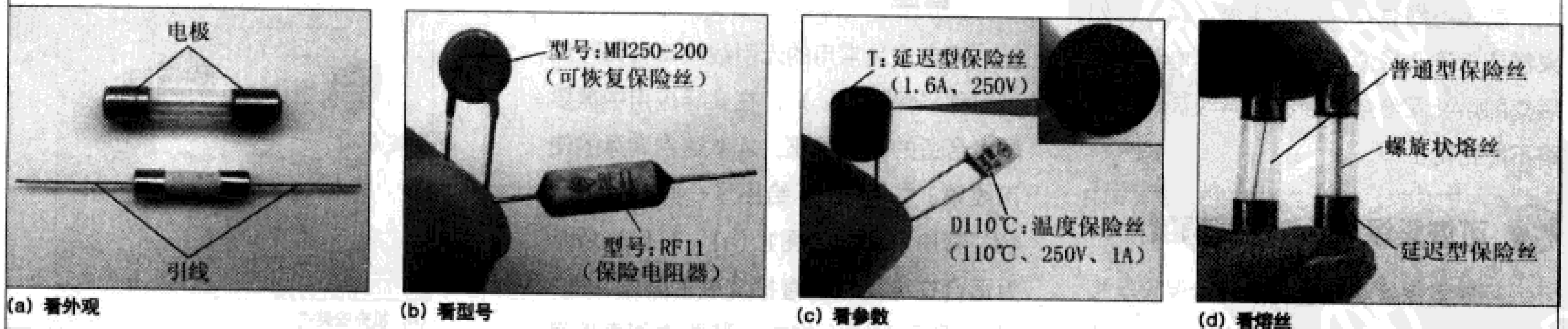
温度保险丝、可恢复保险丝、保险电阻器等产品的型号命名多采用生产厂家自定的命名规则或直接参照国外同类型产品型号的命名法，所以没有统一的标准可循。由于这类保险器件的特性、用途各不相同，所以反映它们性能的参数有着较大的差别，读者应注意区分并弄清楚每个参数的具体含义。

产品标识

普通保险器件都有两个电极（或引线），如图4（a）所示。由于其外形与其他元器件有着明显的差别，所以一般看外观就能识别出来。但保险电阻器、贴片保险丝由于特征不明显，要注意区分与其外形相近的普通电阻器、贴片阻容元器件。

小型保险器件只有少数产品在外壳上标出了型号或简化的型号，如图4（b）所示。大多数保险器件在外壳上不标出型号，只标出反映产品特征的单字母、额定电流和额定电压等参数，如图4（c）所示。例如：“F 3A 250V”表示这是一个额定电流为3A、额定电压为250V的普通保险丝，“T 1.6A 250V”表示这是一个额定电流为1.6A、额定电压为250V的延迟型保险丝。“250V 1A D110℃”表示这是一个额定电流为1A、额定电压为250V、额定温度为110℃的温度保险丝。

对于外壳是玻璃管的保险丝，透过玻璃还可以看到里面的熔丝，如图4（d）所示。通过熔丝的粗细，可以判断出额定电流大小。显然，熔丝越粗，说明额定电流越大，反之，正好相反。此外，熔丝呈螺旋管状的保险丝，一般多为延迟型保险丝。多年来，笔者一直用此方法区分彩色电视机是用延迟型保险丝还是用普通保险丝，方法简便而有效。



(a) 看外观 (b) 看型号 (c) 看参数 (d) 看熔丝

图4 常用保险器件的识别方法

用好保险器件8要素

◇姜伟伊

保险器件作为具有过流、过压、超温等保护功能的特殊安全器件，已被广泛应用于各种家电产品及电子设备中。正确合理地选择和使用保险器件，将直接影响到其保护功能的正常发挥，关系到设备的保安效果，甚至关系到人身和财产的安全。下面就向使用者介绍一些必须要掌握的最基本、最有用的知识和技能。

❶ “因地制宜”选对保险器件

选用保险器件时，首先应根据被保护电路的特点和要求，确定选择合适的产品类型。例如，当电路中存在抗电流冲击脆弱的元件或部件，且负载电流较恒定或浪涌电流较小时，可选用特快速熔断型保险丝或快速熔断型保险丝，当负载存在正常浪涌电流，且电路中不存在抗冲击脆弱的元件或部件时，可选用中等延时或延时熔断型保险丝；当电路需要承受瞬间雷击时（如电话机等），可选用特殊的抗雷击型保险丝，当电路容易发生较大短路电流时，可选用分断电流保险丝等。其次，应保证所选保险器件的主要参数（额定电流、额定电压等）符合应用电路的要求。比如，所选保险器件的额定电压必须大于被保护回路的输入电压，额定电流按所选保险丝品种性能的不同，应大于电路实际工作电流一定数值。若额定电流选择偏大，就起不到有效保护的作用，反之，如果额定电流选择偏小，就会引起电路通电后立即熔断保险丝的情况，导致被保护电路不能正常工作。

❷ 可恢复保险丝与环境温度

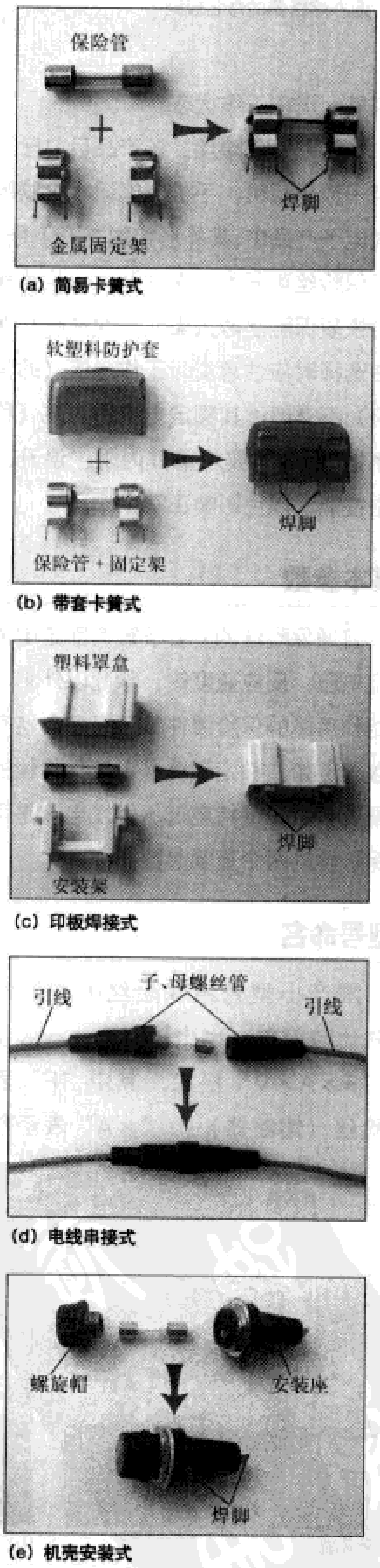
可恢复保险丝和传统的普通保险丝相比较，不仅体积小、反应速度快，还能给设备提供更可靠的保护，并且当电路故障排除后，能够自动恢复导通状态，免去了人为更换熔丝的麻烦，从而实现了“重复使用，无须更换，一劳永逸”之目的。

尽管可恢复保险丝的基本用法与普通保险丝相同（均无极性，将其串联到被保护的交流或直流电回路中即可），但在实际使用时必须要注意到环境温度对它的影响：当环境温度超过20℃时，流过可恢复保险丝的电流，会随环境温度的增加而递减。一般当环境温度达到85℃时，通过可恢复保险丝的电流将仅剩原来的一半左右。另外，在环境温度正常时，线路上的电流会100%流过可恢复保险丝，但如果有超过额定电流两倍以上的故障电流产生时，可恢复保险丝便会动作，并且故障电流越大，反应速度越快。显然，可恢复保险丝在环境温度相对较高时，具有更短的动作时间和较小的维持电流及动作电流，当环境温度相同时，动作时间随着电流的增加而急剧缩短。

可恢复保险丝动作以后，在异常过电流消除后的极短时间内，其温度可快速降低，阻值会急速下降。此外，相同规格的可恢复保险丝可以并联使用，其优点是能够降低自身电阻并提高维持电流。

❸ 为“保险管”搭配合适的管座

家电产品常用的无引线玻璃管保险丝（简称“保险管”），在实际应用中需要配上合适的保险管座，才能达到满意的使用效果。如图1所示给出了一些常见的配套“管座”，其中图1（a）～（c）所示为适合在电路板上直接焊装的管座，图1（d）所示为适合在电子装置内部直接串联在供电接线中的引线型管座，图1（e）



（a）简易卡簧式
（b）带套卡簧式
（c）印板焊接式
（d）电线串接式
（e）机壳安装式

图1 几种玻璃管保险丝配套管座

保险器的简易测试方法

TIPS

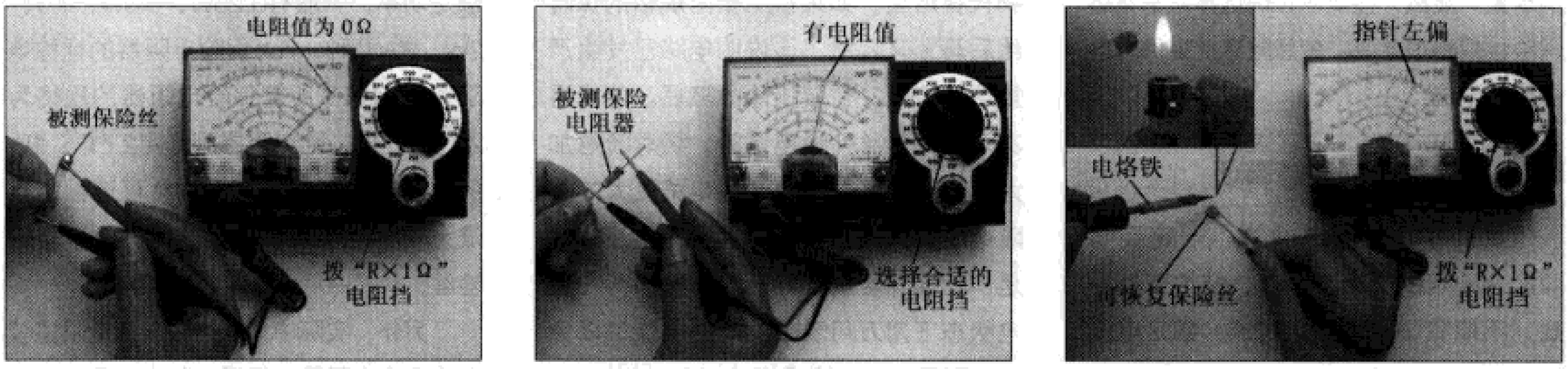
业余条件下，通过直观查看的方法来衡量保险器件品质的标准是：表面无裂缝、金属帽或电极片无氧化或电火花烧灼、内部熔丝应完整无缺（指玻璃或透明塑料管封产品）。除此以外，借助普通万用表可进行如下简单的检测：

检测普通保险丝 按照附图（a）所示，将普通MF50型指针式万用表（或其他万用表）拨至“R×1Ω”或“R×10Ω”电阻挡，红、黑表笔不分极性连接到被测保险丝的两个金属电极，正常时表针所指电阻值应为0Ω。如果电阻值为无穷大（表针不动），说明被测保险丝内部已熔断。如果有较大电阻值或表针指示不稳定（来回摆动），说明被测保险丝性能不良。

此检测方法同样适合延迟型保险丝、温度保险丝、普通一次性贴片保险丝等。

检测保险电阻器 根据所测保险电阻器的阻值大小，将万用表置于合适的电阻挡，并按照附图（b）所示，将红、黑表笔不分极性连接到被测保险电阻器的两引脚，其电阻值读数应基本符合所测保险电阻器的标称阻值。如果阻值为无穷大（表针不动），说明该保险电阻器已熔断。如有较大电阻值或表针指示不稳定，说明被测保险电阻器性能不良。

检测可恢复保险丝 按照附图（c）所示，将万用表拨至“R×1Ω”电阻挡，红、黑表笔不分极性连接到被测可恢复保险丝的一对引脚，正常时表针所指电阻值读数应与其原始电阻值基本一致。接下来，将加热的电烙铁头或打火机火焰靠近所测的可恢复保险丝，注意电烙铁头或火焰不要接触到可恢复保险丝，以免造成损坏。一边加热，一边观察万用表指针读数是否发生变化。若指针读数显著增大，说明被测可恢复保险丝性能良好；若指针基本上没有变化，则说明被测可恢复保险丝性能不良或已损坏。



(a) 测普通保险丝　(b) 测保险电阻器　(c) 测可恢复保险丝

附图 保险器件的检测

所示为适合在各种设备外壳上直接安装的机装型管座。无论哪一种管座，其特点都是电接触良好、更换保险丝方便，并且大多具有防尘、防打火等功能。

4 根据保险丝熔断状况判断故障程度

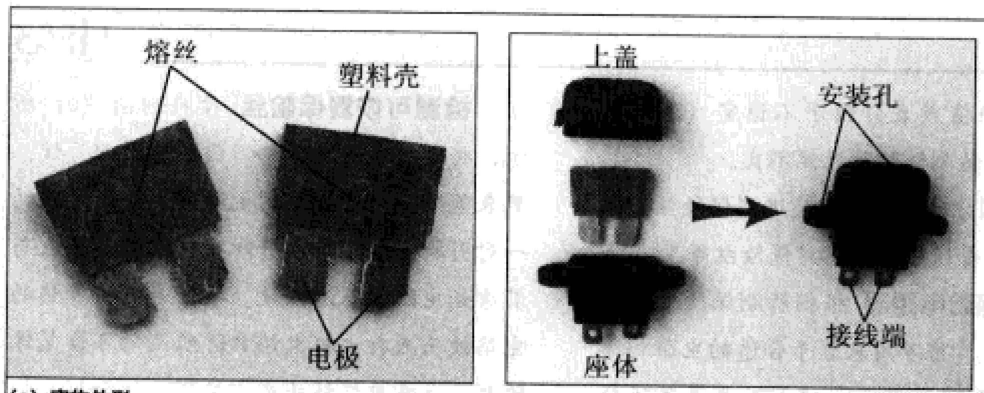
玻璃管保险丝的熔断特征与被保护电路发生故障的原因有着内在的联系，通过观察玻璃管内熔丝熔断后的状况，可以大致判断出电路发生故障的严重程度。当保险丝中间熔断时，如果换上符合规格的保险丝后再次被熔断，即表明被保护电路发生了局部短路现象或过电流现象。当保险丝熔断后呈珠状时，表明被保护电路发生了瞬时大电流过载故障，例如强信号注入功率放大器后造成瞬时大电流，或功率放大器本身产生了自激振荡。当玻璃管壁上起了白色花纹时，表明功放级或电源部分等发生了击穿或短路故障，例如电源滤波电容器或前级去耦电容器击穿、功放级输出变压器级间绝缘不良等。当玻璃管壁发黑或爆裂时，多表明被保护电路发生了较为严重的电源变压器内部短路、整流二极管击穿、高压回路对地短路等故障，并由此产生大浪涌电流所致。

出现以上几种现象后，一定要根据保险丝熔断后所表现出来的不同状况，先分析并查找排除电路故障，然后再更换同规格的保险丝。在未查出故障原因之前，切不可更换保险丝后再次通电试验，更不可盲目地用铜丝或铝丝等替代保险丝，以免扩大故障范围，造成更严重的损失。

5 正确选择插片式保险丝规格很重要

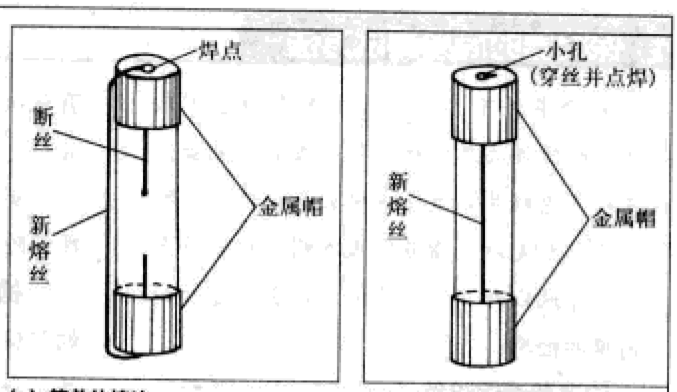
插片式保险丝以其易辨认、易更换、节省安装空间等优点，在汽车电路中得到了越来越广泛的应用。如图2（a）所示即为汽车专用中号插片式保险丝的实物照片。这种插片式保险丝必须配上图2（b）所示的相应插座，才能安全可靠地工作。目前汽车电路中普遍使用的是中号插片式保险丝，预计未来小号插片式保险丝将逐渐成为主流。

实际使用中，如果发现插片式保险丝的塑料壳烧坏了，说明电路中过电流已经达到了一定程度。由于熔丝没有被快速熔断，随着时间的推移，熔丝持续发出的热量会慢慢地烧坏塑料壳，甚至烧坏电路中



(a) 实物外形 (b) 配套插座

图2 汽车用插片式保险丝



(a) 简单外接法 (b) 完全替换法

图3 普通玻璃管保险丝的修复

其他元器件。如果故障电流特别大，一瞬间就会熔断保险丝，就不存在烧坏塑料壳的现象。显然，按要求正确选择汽车电路保险丝规格很重要，禁忌随意提高保险丝的额定电流。

6 保险丝更换注意事项

更换保险丝时应注意，一定要与原配保险丝的规格、参数、特性保持一致，不能犯了只要额定电流、额定电压相同就可替换的低级错误，不能任意加大熔丝的电流等级，更不能用其他导电物代替熔丝。如果换上相同规格的保险丝后马上又烧断了，说明电路已发生严重短路故障，需要排除故障后，才能再次装上保险丝并通电试验。切忌随意加大保险丝规格，以免造成电路更大的故障或引起火灾等事故。另外需要注意的是，发现保险丝损坏后，一般不得在通电状态下用万用表检测短路电流，以免造成万用表过电流损坏。

家用电器常用的BGDP和BGXP型普通玻璃管保险丝“烧断”后，如果一时找不到相同规格的新保险管替换，不妨自己动手修复损坏的保险管，方法有二：一是按照如图3（a）所示，直接找一根与保险管额定电流相等的熔丝焊接在保险管两端的金属帽上，二是按照如图3（b）所示，用电烙铁和大头针烫开保险管两端金属帽上的小孔，清除里面烧断的熔丝，然后穿进一根与熔丝管额定电流相等的熔丝，再把熔丝和金属帽焊接好即可。熔丝材料可选现成的细铜丝或漆包线代用，具体直径选择可参考附表。

附表　BGDP和BGXP型玻璃管保险丝规格及代用铜丝直径

熔丝额定电流(A)	采用熔丝材料	熔丝直径(mm)	代用铜丝直径(mm)
0.5		0.08	0.04
0.75		0.10	0.05
1.0	康铜丝	0.12	0.06
1.5		0.18	0.08
2.0		0.20	0.09
2.5		0.10	0.10
3.0		0.125	0.11
4.0		0.16	0.13
5.0	银丝	0.175	0.15
6.0		0.19	0.17
8.0		0.213	0.21
10.0		0.25	0.25

7 保险电阻器的代换

在业余制作或维修时，如果一时找不到合适的保险电阻器，不妨按照如图4所示，用一个普通电阻器和一个普通保险丝串联后代用。所用普通电阻器的电阻值和功率应与所需保险电阻器相同，而保险丝额定电流值可通过公式$I=\sqrt{P/R}\times60\%$来估算，式中，P为保险电阻器的额定功率，一般有0.25W、0.5W、1W、2W、3W几种，R为保险电阻器的标称电阻值。例如，所需保险电阻器的规格为2.7Ω、1W，则电阻器可选用2.7Ω、1W的金属膜电阻器，而保险丝可选额定电流为0.2A的玻璃管保险丝或其他小型保险丝。

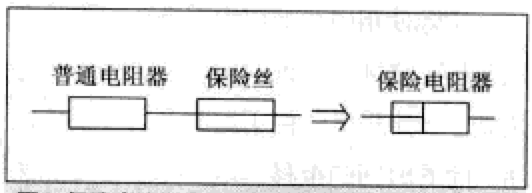


图4 保险电阻器代用示意图

另外，实际中如果需要一只电阻值较大的保险电阻器，但手头仅有一只功率符合要求、电阻值却很小的保险电阻器时，不妨用一只电阻值相差不多的普通电阻器与这只小阻值保险电阻器串联起来，以获得所需要的保险电阻器。

8 焊接保险器件时，散热很重要

保险丝在无故障的情况下，其寿命几乎与设备的寿命一样长。但在焊接保险丝时要特别注意采取必要的散热措施，否则电烙铁的高温有可能使熔丝的性状发生改变，从而导致其额定电流等参数发生改变。另外，在印制电路板上焊接保险电阻器时，要注意远离其他发热元器件，并将其悬空在10mm以上进行焊接，注意不可紧贴印制电路板。对于管座内安装的保险丝，应注意保证触头、接线端等处接触良好，并应经常检查。若接触不良，会使接触部位发热，熔丝温度过高就会造成误动作。接触不良还会产生电火花，对电路造成电磁干扰。

关于在全国深入开展“少年电子技师”认定活动的通知

为了激发青少年学习电子科学技术的兴趣，培养青少年的操作技能和创新精神，促进实施教育部倡导的新课程改革，全面提高青少年的科学文化素养，在全国范围内，将继续深入开展“少年电子技师认定”活动。

为进一步了解“少年电子技师”认定活动在全国开展的实际情况，全国组委会进行了实地调研和问卷调查工作，对各地在开展这项活动中遇到的问题及组织工作者提出的意见进行了研究，在听取了活动专家委员会的建议后，拟对该项活动的组织办法、认定标准、资格审核、颁发证书等流程进行重新修订和完善。现将主要变化内容通知如下：

一、全国“少年电子技师”认定活动的认定等级计划由原来的三级制，改为九级制。初步认定标准详情将在修订的全国“少年电子技师”认定等级标准中统一说明，并将于2013年开始正式实施。

二、全国“少年电子技师”认定活动的主要对象是爱好电子技术的中小学生，其中小学阶段一般以3年级以上的学生为主，主要活动建议放在小学3～5年级、初中1～2年级、普通高中1～2年级为宜；临近毕业年级的学生可自愿参加认定活动；中专、职业高中学校可根据教学的具体要求自行安排。

三、2012年年底，全国“少年电子技师”认定活动网站将正式上线，并建立相关数据库。该网站主要提供以下几方面的信息：

1. 及时发布全国组委会关于开展全国“少年电子技师”认定活动的相关信息，
2. 发布“全国少年电子技师”等级认定及颁发证书的全部信息，相关人员可凭全国唯一的证书号随时查询，
3. 发布“全国少年电子技师”认定活动导师等级认定及颁发证书的所有信息，
4. 具有活动的交流版块，展示各地活动风采，选登师生优秀作品，
5. 开辟活动器材介绍、使用方法、实验室配套方案等服务性版块。

四、为广泛开展全国“少年电子技师”认定活动，全国各地的科技馆、少年宫、少年之家及中小学校均可直接向全国组委会申请建立认定单位。经组委会批准，统一授牌。

五、2013年，全国组委会将根据新的认定标准，对各地认定单位上报的符合发证条件的“少年电子技师”和导师颁发全国统一证书。

六、“少年电子技师”考核所需的试卷及器材由全国组委会统一发放，练习器材不做统一要求。

全国“少年电子技师”认定活动组织委员会

2012年7月

全国“少年电子技师”认定活动认定单位的审核标准及申请办法（试行）

“认定单位”是“少年电子技师”认定活动的基层组织，担负着“少年电子技师”认定活动的组织、培训和考核等任务。

认定单位的确立是“认定活动”的基本建设，直接关系到“认定活动”能否健康、持久地开展下去。组委会要在全国的中小学校（包括专科、师范、技校和职高在内）和校外科技教育机构中开展活动单位认定工作，使学校和教育机构对电子科技普及教育有明确认识，带动更多的教育机构投身于青少年电子知识的普及工作中。

“认定单位”分成3级，现将标准分述于下：

一、C级“少年电子技师”认定单位，认定标准为：

1. 已经开展了电子技术课外小组或电子俱乐部等活动，并取得了一定成绩，或曾开展过电子技术方面的活动，并积累了一定的活动经验的单位。

2. 具有开展电子技术活动的一般设施和设备条件，应具备30～40m^{2}的活动专用房，20套左右的桌椅，以及尖嘴钳、斜口钳、镊子、改锥、电烙铁和万用表等最基本的手工工具和仪表。

3. 具有安全用电的必要措施。

4. 具有正式在编的指导教师。

二、B级“少年电子技师”认定单位，认定标准为：

1. 具有开展电子技术活动的丰富经验，具有组织本地区开展电子技术活动的能力，在全国、省市、区县的比赛、竞赛、展览中取得过较好的成绩。

2. 具有开展电子技术活动较完善的设施和设备条件，应具备30m^{2}左右的活动专用房，30套左右的桌椅和工作台，以及电子技术常用的钻、锉、焊、万用表、稳压电源等工具。

3. 具有安全用电的必要措施。

4. 具有正式在编的指导教师，指导教师至少有1人获得了中级以上导师资格。

三、A级“少年电子技师”认定单位，认定标准为：

1. 具有开展电子技术普及教育的丰富经验，具有组织区县、省市活动的能力，在全国、省市的比赛、竞赛、展览中取得了较好的成绩。

2. 具有开展电子技术普及活动较优良的条件，有宽敞的活动场所和良好的设备条件，包括常用的电动工具和常用仪器、仪表等。

3. 具有安全用电的必要措施。

4. 具有正式在编的指导教师，指导教师至少有1人获得了高级导师资格。

符合以上标准的学校和校外教育机构，可直接向全国组委会申请认定单位资格。

申请“少年电子技师”认定单位的相关表格，请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

填好表格后，发送至sndz@radio.com.cn，并在邮件标题中注明“申请认定单位”字样，如需咨询，也可发邮件至此邮箱。

同时组委会将根据“认定单位”申报情况，与相关省市科协、教育等部门或机构组建分委会，承担各地“少年电子技师”认定活动的组织和管理工作。

全国“少年电子技师”认定活动组织委员会

2012年7月

全国"少年电子技师"认定活动导师资格的审核标准及申请办法（试行）

为了使"少年电子技师"认定活动在基层顺利开展，组委会将对认定单位中的电子技术辅导教师，分别授予不同等级的导师称号，特修订《"少年电子技师"导师资格审核标准（试行）》以供参考。导师在基层单位中具体负责少年电子技师活动的组织、培训和认定等工作，可根据《"少年电子技师"等级标准》认定相应的少年电子技师等级。现将导师资格等级的审核标准分述如下：

一、初级导师资格审核标准

1. 具备一定的电子技术知识水平，能够较熟练地组装小型电子装置。
2. 对辅导学生电子制作活动有一定的热情和积极性。
3. 能胜任初级电子技师电子技术培训的辅导工作。

二、中级导师资格的审核标准

1. 具有中教二级（或相当于中教二级）职称，具备一定的电子技术知识水平，能够较熟练地组装小型电子装置。
2. 从事电子技术培训的辅导工作1年以上，或本人在科普杂志上发表过电子技术方面的科普文章，或本人的电子技术作品在区县以上的教师教具展中获得三等以上奖励。
3. 辅导的学生曾在区县以上比赛、竞赛或展览中获得三等以上奖励。
4. 能胜任中级电子技师电子技术培训的辅导工作，原则上应是认定单位编制内的教师（外聘教师如果担任辅导工作多年，今后仍能继续担任辅导工作，可酌情考虑）。

三、高级导师资格的审核标准

1. 具有中教一级（或相当于中教一级）职称，具备较高的电子技术知识水平，能熟练地组装和开发中小型电子装置。
2. 从事电子技术的辅导工作5年以上，或本人在科普杂志上多次发表过电子技术方面的科普文章，或本人的电子技术作品在区县以上的教师教具展览中获得二等以上奖励。
3. 辅导的学生曾在区县以上比赛、竞赛或展览中获得二等以上奖励。
4. 能胜任高级电子技师电子技术培训的辅导工作，原则上应是认定单位编制内的教师（外聘教师如果担任辅导工作多年，今后仍能继续担任辅导工作，可酌情考虑）。

四、特级导师的资格审核标准

1. 具有中教高级（或相当于中教高级）职称，具备较高的电子技术知识水平，能够熟练地组装和开发中小型电子装置。
2. 从事电子技术培训的辅导工作10年以上，或本人在科普杂志上多次发表过电子技术方面的科普文章，或本人的电子技术作品在区县以上的教师教具展览中获得一等以上奖励。
3. 辅导的学生曾在区县以上比赛、竞赛或展览中获得一等以上奖励。
4. 目前仍担任电子技术的辅导工作，并在认定单位工作。

凡符合上述各等级标准的教师，可由教师本人向全国组委会提出申请，全国组委会将采取因地制宜的办法安排培训和考核，并颁发相应等级的证书。农村地区的教师申请中、高级导师时标准可适当放宽，由组委会根据具体情况酌情处理。

申请"少年电子技师"认定活动导师资格的相关表格，请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

填好表格后，发送至sndz@radio.com.cn，并在邮件标题中注明"申请导师资格"字样，如需咨询，也可发邮件至此邮箱。

全国"少年电子技师"认定活动组织委员会

2012年7月

电机解读系列之

解读步进电机

◇温正伟

步进电机是一种将电脉冲信号转换成相应的角位移或线位移的控制电动机，在各种需要精确控制的领域都被广泛使用。根据资料来看，步进电机的原型早在1870年左右就出现了。在20世纪60年代永磁体制造技术进步后，步进电机得到了快速发展，现在已成为一种经典的电机类型了。

许多初学电子的年轻朋友对步进电机还是有些陌生的。它无法像上期我们介绍的直流电机那样，只要接通电源后就能正常工作。它是一种感应电机，需要驱动电路将直流电变成分时供电的多相时序控制电流，按一定时序向步进电机各个绕组供电，才能工作。简单来说，使用步进电机的最小系统必须有脉冲信号发生器、功率驱动电路，才可以使其正常工作。因此，要用好步进电机必须有机械、电子、计算机等知识。

步进电机之所以在各种需要精确控制的领域广泛使用，原因如下：在非超载的情况下，步进电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响，在步进驱动电路的控制下，每一个脉冲信号只会让电机按步距角转动一个固定的角度，它的旋转是以固定的角度一步一步运行的，只需要控制脉冲个数，就可以控制其电机轴的角位移量，同时可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度，从而达到精确定位和调速的目的。那么，步进电机是如何做到这些的呢？请向下读。

步进电机工作特点

步进电机可以分成反应式（可变磁阻式VR）、永磁式（PM）以及混合式（HB）三种。现在最常见的是混合式步进电机，它汇集了可变磁阻步进电机和永磁体步进电机两种步进电机的优点。这3种种类的步进电机结构原理图分别如图1~图3所示。

3种种类的步进电机虽然结构上有很大区别，但其基本的工作原理差不多。下面以步距角为90°的步进电机简单模型来讲解工作原理。图4就是90°步距角的步进电机结构模型，中心的转子是由永磁体组成，转子至少由一块永磁体组成，通常都不止一块，而围绕转子的是定子，由绕组群组成。这个结构和普通有电刷的直流电机不一样，直流电机转子是绕组，定子则是永磁体，当直流电机给绕组（转子）通电时，通过转向器作用，转子会使电机轴不停转动，而步进电机给一组绕组通电时，这一绕组产生磁场，转子受磁场作用会转到这个绕组的位置上，并保持在这个位置上。

使用过步进电机的朋友都知道，当步进电机驱动器通电后，步进电机会锁定，如果这时你想用手去转动电机轴是很费力的，尺寸大点的步进电机更是没法转动，这就是受到上述所说的作用力，这个作用力矩称之为保持转矩。步进电机的步距、保持等特性使得它在多个领域中有广泛的应用。图5所示的自动注射器中的传动机构、雕刻机的传动机构、打印机的传动机构等都使用了步进电机。

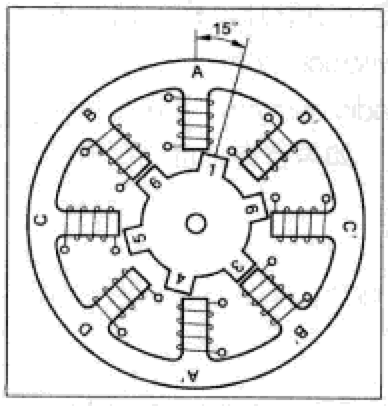


图1 反应式步进电机结构

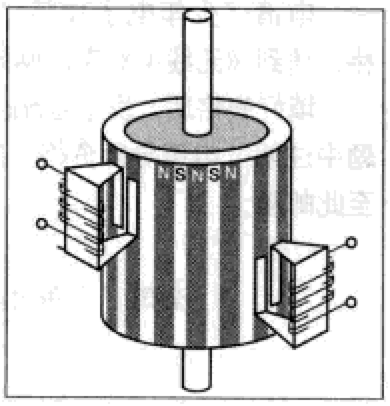


图2 永磁式步进电机结构

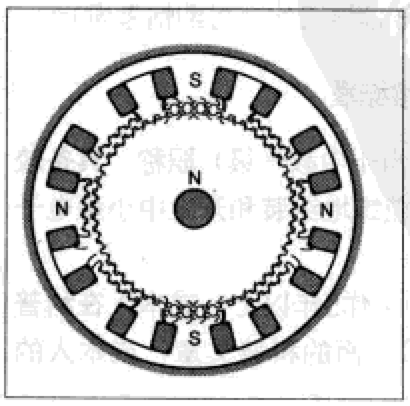


图3 混合式步进电机结构

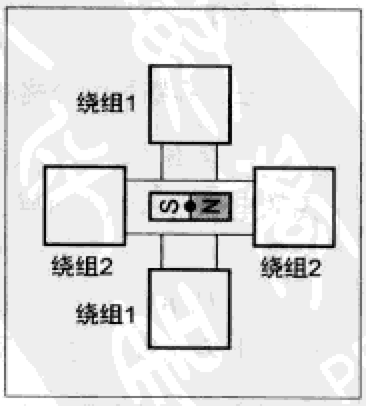


图4 简单的步进电机模型

“步进”是如何实现的

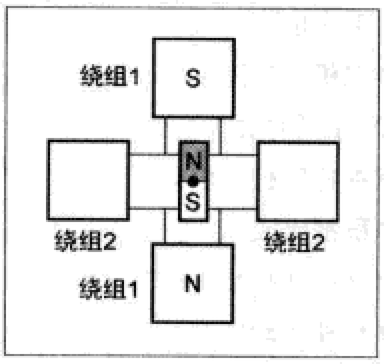


图6 步进电机顺时针旋转第一步示意图

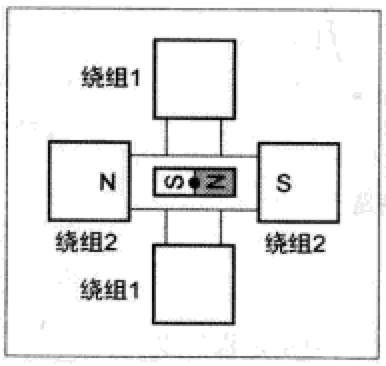


图7 步进电机顺时针旋转第二步示意图

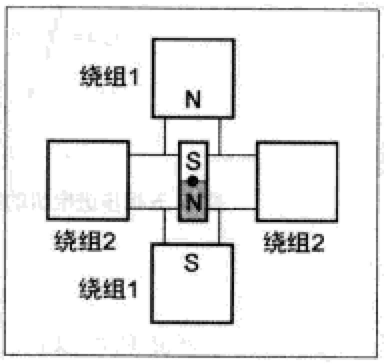


图8 步进电机顺时针旋转第三步示意图

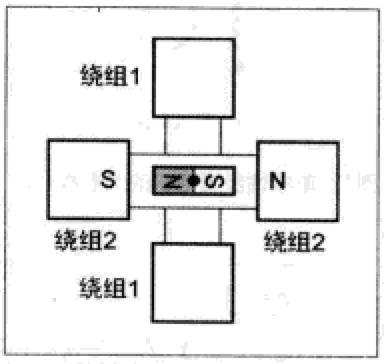


图9 步进电机顺时针旋转第四步示意图

步进电机英文称为stepping motor，从字面也可以理解到，这种电机是以“步”来运转的，而不像普通直通电机那样连续顺畅的旋转，要使步进电机连续旋转必须按“步”走，一步一步前进。那么怎么才能让步进电机转子“步进”起来呢？

看过上一期介绍直流电机文章的读者应该知道洛伦兹力，就不难回答这个问题了。没错，如图4所示，只要把绕组2断电而绕组1通电，就可以把转子“步进”到绕组1的位置上。下面我们用图来说明图4中90°步距角的步进电机模型顺时针旋转一周的工作过程。

首先，给绕组1正相加电，让转子保持在图6所示的位置上，然后绕组1断电，绕组2正相加电，这时转子会转到图7所示位置上，转子转了一个步距角正好转了90°。第三步，转子要转到图8所示的位置上，这时绕组1必须施加反相电流才能产生图8中的磁场，使转子从第二步位置转到第三步位置上，同样第四步中的绕组2也必须施加反相电流。顺序重复这些步骤时，电机转子就可以连续做顺时针圆周旋转，而每一步则正好转了90°。那么要逆时针旋转又该如何做呢？很简单，只要把步骤反过来执行就可以了，如在执行第三步后，再执行第二步那么转子会逆时针转90°回到图7所示的位置上。由此可以看出，使用步进电机必须也要有换相器，只是它不像普通直流电机那样使用简单的电刷机式换相器，而是需要能使多个绕组进行分时供电和换相的驱动电路来实现这一功能。驱动控制电路所输出的时序及频率则是控制步进电机速度和位置的关键。

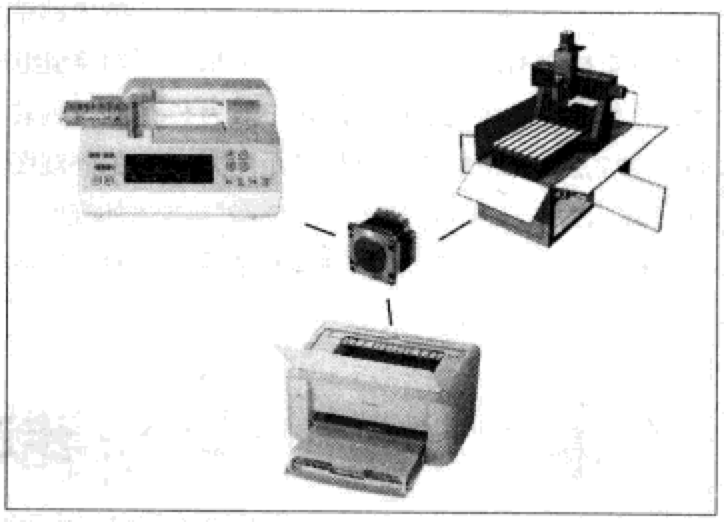


图5 使用步进电机的设备

从以上的过程描述我们可以看出，步进电机的每一步都会精确地走一个步距角，而不需要额外的反馈系统，也就是使用开环系统就能实现精确的定位，而普通直流电机不加反馈系统的情况下是不可能实现的。使用步进电机可以在廉价的基础上得到理想的精度，这也是图5中那些精密设备要使用步进电机的原因之一。

初学者可能会问，每步90°怎么能算精确呢?当然，那只是我们用来分析的简单模型，实际上现在常用的混合式步进电机的步距角都很小，而常见混合式

图10 五相步进电机内部结构

图11 五相步进电机外观图

图12 两相步进电机外观图

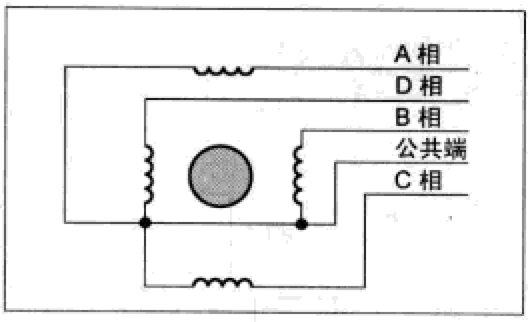


图13 单极性步进电机的线圈线路

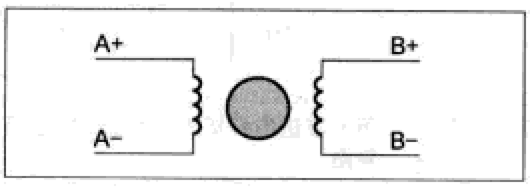


图14 双极性步进电机的线圈线路

的步进电机又有单极性、两相以及五相之分，单极性步进电机的步距角一般为3.6°或7.2°，两相步进电机步距角为3.6°或1.8°，五相步进电机则为0.72°或0.36°。有一些高性能的步进电机的最

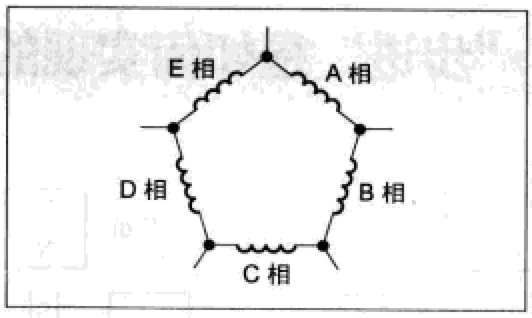


图15 五相步进电机的线圈线路

小步距角可以到0.036°，但那是极为少见和昂贵的。

图10就是一个五相混合式步进电机的内部结构照片。我们可以清楚看到10组绕组组成的定子及由圆柱齿轮状永磁体组成的转子。图11是这个五相步进电机的外观图，而图12则是两相步进电机的外观图，同是混合式其内部结构基本一样，只是绕组的接线形式不一样。所以在使用步进电机之前，我们必须先了解步进电机的绕组线路结构。图13是单极性步进电机（又称4相步进电机）的线圈线路，图上的引线是5线。还有一种是6级单极性步进电机，不同之外是公共端分为2线引出，每2个线圈1个公共端。这样的电机通常在打印机、仪表等设备中可以找到，体积都比较小。图14是双极性步进电机（又称两相步进电机）的线圈线路，其体积和驱动能力都会比单极性的要大许多。图15则是五相步进电机的线圈线路结构图。另外，还有三相步进电机由三组绕组组成定子，这里不做具体说明了。另一种比较不常见的步进电机就是通用步进电机，它的每一组绕组的引线分别引出，一般为8线，这种电机可以根据使用者的需要配置为单极性或双极性等形式使用。

步进电机如何驱动

知道步进电机的工作原理及结构后，我们就不难知道它工作时需要什么样的时序对绕组加电进行驱动了。下面我们来具体看看单极性和双极性这两种常用的步进电机如何驱动。

☆ 寻相方法

购买二手单极性电机时，商家通常不会给你资料，甚至在电机上看不到型号，使用时先需要找出引线是属于哪个相的。以上几个步骤可以帮你很快解决这个问题，这里是以5线单极性步进电机为例，图16是试验时的照片。

1. 因为公共端与其他各引线的电阻是一样的，所以用万用表测量每一根线对其他线的电阻，如果这根对其他线的电阻都一样，则说明是公共端了。

2. 把公共端连到一个电源的正极，测试时可以用+5V。

3. 用一胶带粘贴到步进电机的输出轴上，用于看电机是否转动。

4. 任意选出一条引线（公共线除外），把此线看作A相的引出线，把它接到电源的负极，这时电机会转动一下或不转动。

5. 断开接在A相的负极接线，用其接触其他的线，如果这时电机顺时针转动，说明所接触的引线是B相的引出线，如果电机逆时针转动则说明不是B相，这时断开负极线，用负极线接触一下A相，使转子回复到原位。

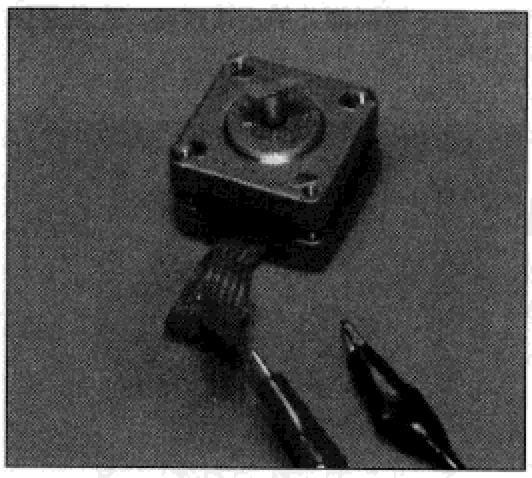


图16 单极性电机寻相

6. 用第5点的方式找出C、D相，最后用负极线依次接触A、B、C、D相，转子能顺时针连续转动时，则说明相序寻找正确。

☆ 步进方式

从寻相的过程中可以发现，单极性

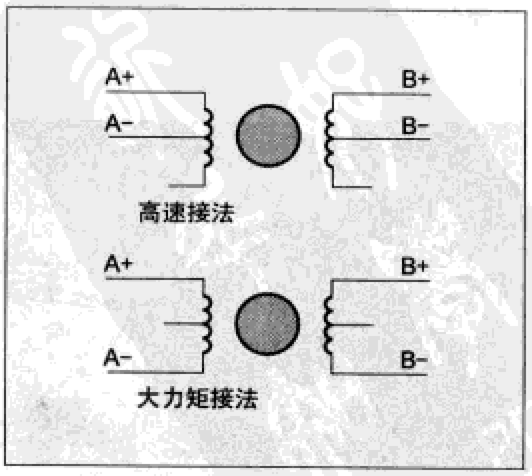


图17 6线双极性步进电机的2种接法

步进电机只要单一极性的电源对绕组进行加电就可以让电机运转，这也是其名称的由来。通过同时对一组或多组绕组加电，可以得到不同的步进方式。单极性步进电机的步进方式有如下3种：单拍、双拍、半拍。

单拍步进方式的驱动时序如表1所示，单拍的工作原理是每次给一个绕组通电，转子与通电绕组磁性相反的永磁体会被通电绕组吸引，依次通A、B、C、D相，转子就会不停地转动。

双拍步进方式的驱动时序如表2所示，双拍的工作原理，一次同时给两个绕组通电，转子会在到达两个绕组的中间位置时平衡，因为同时给两个绕组通电，所以用电量也需要比单拍方式多一倍，但可以多获得40%左右的输出力矩。

半拍步进方式的驱动时序如表3所示，半拍方式是让单个绕组通电与两个绕组通电交替进行，输出力矩比单拍大，但又比双拍小15%~30%。这种方式可以提高一倍步进分辨率，也就是电机转一周需要双倍的脉冲数，而每步步距角是单拍或双拍时的一半。

表1

	A	B	C	D
1	通			
2		通		
3			通	
4				通

表2

	A	B	C	D
1	通	通		
2		通	通	
3			通	通
4	通			通

表3

	A	B	C	D
1	通			
2	通	通		
3		通		
4		通	通	
5			通	
6			通	通
7				通
8	通			通

表4 单拍

	A1	A2	B1	B2
1	−	+		
2			+	−
3	+	−		
4			−	+

表5 双拍

	A1	A2	B1	B2
1	−	+	−	+
2	−	+	+	−
3	+	−	+	−
4	+	−	−	+

表6 半拍

	A1	A2	B1	B2
1	−	+	−	+
2			−	+
3	+	−	−	+
4	+	−		
1	+	−	+	−
2			+	−
3	−	+	+	−
4	−	+		

双极性步进电机，也就是说每个绕组都可以由两个方向通电，对于转子而言，每个绕组就可以是N极和S极。通常也称之为两相步进电机，因其具有两组分离的线圈。同一大小的双极性和单极性步进电机相比较，双极性的输出力矩比单极性的要大，原因是工作时单极性的只有一个绕组形成磁场，而双极性则是两个绕组形成两个磁极吸引转子。双极性步进电机一般有4根引出线，可以使用万用表方便地查出哪两根引线是在一个绕组上的。常见的双极性步进电机一般步距为1.8°，每200步为一圈，在使用半拍方式驱动时可以是400步转一圈。也经常见到有6线引出的，多一对中间抽头，可以有两种接法如图17所示。因为双极性的绕组是需要在两个方向上通电的，所以在驱动电路上需要一个H桥电路，通过控制H桥的导通和关闭，可以改变绕组引线上的电流方向，从而实现电机的转动控制。双极性步进电机同样具有单极性步进电机的步进方式。时序如表4~表5所示。

Tips 什么是“细分”

在步进驱动IC或步进驱动器中常会用到一个技术名词——“细分”，这个技术原理和上面说的半拍模式相似，是一种电子阻尼技术，通常是指使用专用IC或MCU控制电动机各相绕组中电流的大小和比例，使步距角减小到原来的几分之一至几十分之一，甚至更高，同时能极大改善步进电机运行的平稳性，是高级步进驱动器中不可少的技术。比如，一只1.8°步距角的两相步进电机，旋转一周所需要的脉冲当量是200，但如果使用了10细分的步进驱动，则需要2000个脉冲才可以完成，也就是每个脉冲使电机轴转了0.18°，这样就得以把步进分辨率提高10倍。由于步进电机工作原理的原因，当步进电机工作在低速时，特别是使用单、双拍这样的整步步进方式极容易产生振动，这样就需要使用驱动器细分技术减少或克服这个对电机工作不利的振动产生。

如何选择步进电机

▶ **尺寸：**步进电机的尺寸一般会有42、57、86、110等，是指安装孔的间距，通常安装孔间距相同而机身长度越长的电机，力矩会越大。

▶ **步距角：**步距角取决于负载精度的要求，将负载的最小分辨率（当量）换算到电机轴上，每个当量电机应走多少角度，而电机的步距角应等于或小于此角度步进电机的步距角，一般有0.36°/0.72°（五相电机）、0.9°/1.8°/3.6°/7.2.°（二、四相电机）、1.5°/3°（三相电机）。

▶ **保持转矩：**保持转矩也称静力矩，是指步进电机通电但没有转动时，定子锁

住转子的力矩。它是步进电机最重要的参数之一，如果商家说这步进电机是2N.m的，在没有特殊说明的情况下是指保持转矩为2N·m的步进电机。

▶**电流：**静力矩一样的电机，由于电流参数不同，其运行特性差别很大，可以参看电机的特性曲线，但一般要求不高的话，可以直接参考需要使用的驱动器的最大电流值，电机电流应小于或等于驱动器的最大电流。

关于步进电机的驱动

如果需要自己制作单极性步进电机驱动电路，小电流的可以使用ULN2003，大电流的可以使用分立的晶体管来分别控制每一相的电源导通。双极性步进电机在驱动时电源需要换相，所以要有两个H桥电路去控制，小电流的双极性电机可以使用L293、L293D、L298等常用又价廉的集成IC去制作简单的驱动。如图18所示是L293D用于驱动双极性步进电机时的典型电路。如果需要大一点的电路或需要精度更高和性能更强的驱动，这类电路复杂，不适合自制，建议最好购买现成的驱动器。市场上国产步进电机驱动器比较多见的是东茂、白山、雷赛等，步进电机品牌国内外常见的有三洋、东方、研控等。图19所示是国内一款双极性步进电机驱动的外观图。

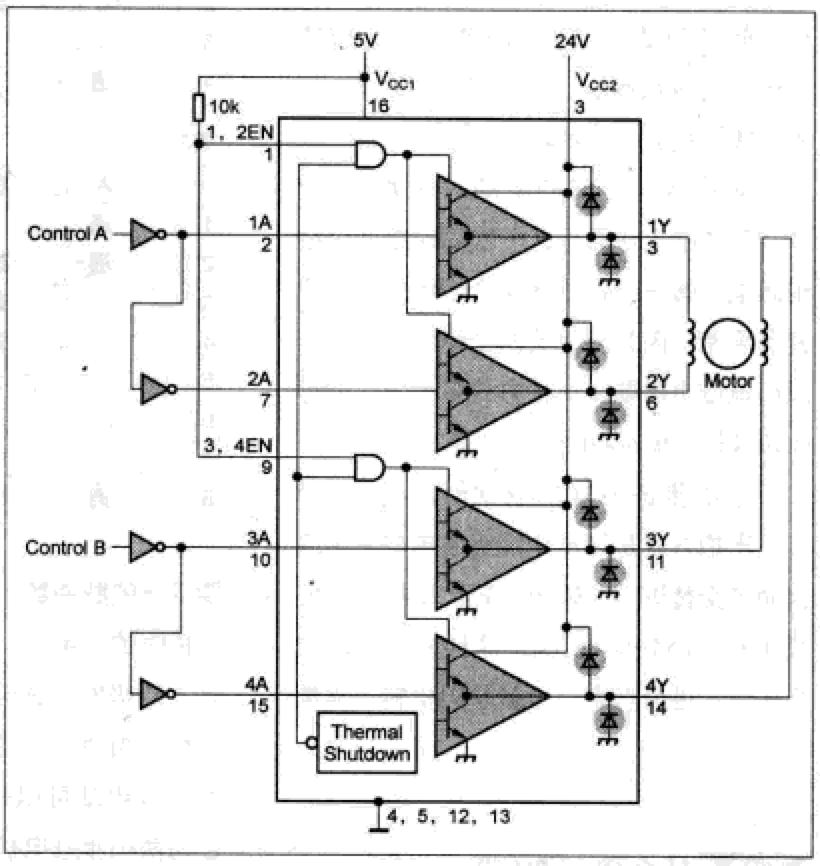


图18 L293D驱动电路

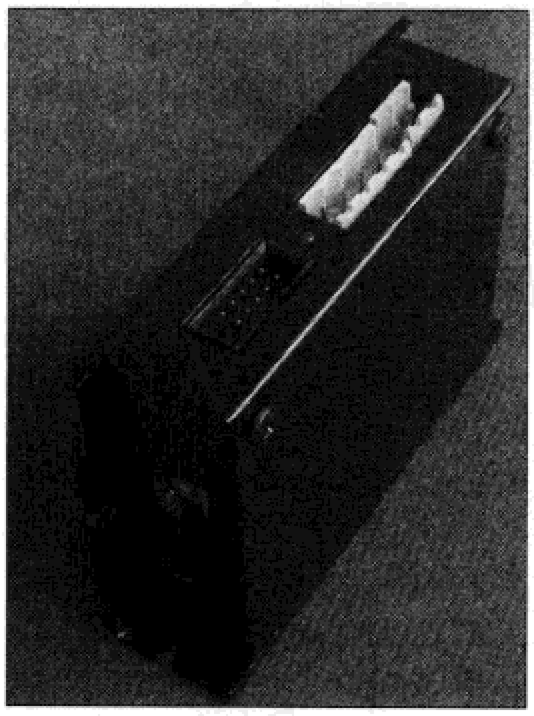


图19 双极性步进驱动器成品

步进电机的输出力矩是随转速升高而下降的，一般的混合式步进电机最高工作转速在300～600r/min。步进电机的控制为开环控制，没有反馈信号可以处理，当步进电机的启动频率过高或负载过大时很容易出现丢步或堵转，还有就是停止时，转速过高，易出现过冲。所以在实际使用中，在要求高的条件下，需要控制软件或控制器使用运动曲线去控制步进电机在启动、运转、停止三个阶段的转速，以克服这些问题。爱好者们在一般的应用中可以不去考虑太多这类问题，如在机器小车的制作，使用步进电机来带动车轮，精度要求不高，只要能驱动起来就可以了，但在不使用闭环系统时会比使用直流电机更容易得到更好的位移精度。

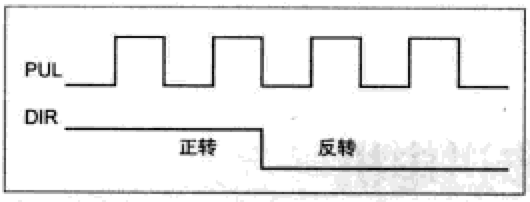


图20 单脉冲信号的示意图

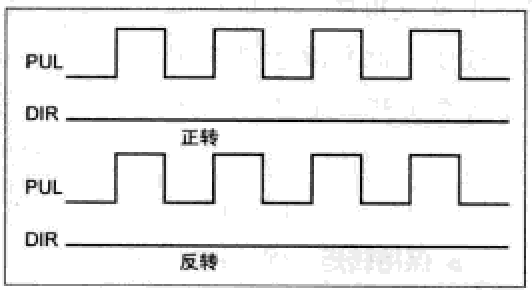


图21 双脉冲信号的示意图

通常成品的步进驱动有如下的信号引脚（可能编号会因厂商不同而不同），有些只可以接收单脉冲信号，有些可以接收单脉冲信号和双脉冲信号：PUL（步进脉冲信号）、DIR（方向脉冲信号，双向脉冲时为反转脉冲）、FREE（脱机信号，也就是关闭驱动器输出，电机静力矩消失）。图20是单脉冲信号的示意图，PUL的每个脉冲控制电机步数，而DIR则指示正反转。

图21是双脉冲信号的示意图，每个信号引脚指示一个运转方向，脉冲数则同样用于控制步数。

至于如何在实际制作项目中使用MCU加步进电机驱动器去控制步进电机，限于篇幅下次有机会再和读者朋友们分享。

◇本刊记者

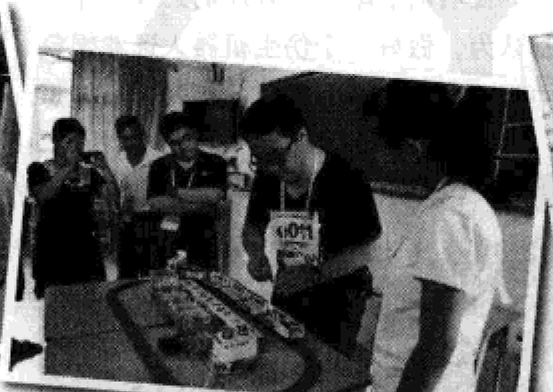
2012年全国青少年电子制作锦标赛在广州顺利举行

2012年8月5日～16日，由国家体育总局、教育部、中国科协、共青团中央、全国妇联共同主办，广州市教育局、广州萝岗区教育文化体育局和广州二中共同承办的全国无线电测向锦标赛、全国青少年无线电测向锦标赛、全国青少年电子制作锦标赛、全国青少年无线电通信锦标赛四大赛事在广州市第二中学隆重举行。来自北京、上海、天津、浙江、安徽、甘肃、西藏等17个省市的200多支代表队参加了本次大赛，有近3000名参赛选手亲身经历了本次盛会。

本刊记者与组委会、带队教师、参赛选手共同经历了数天紧张有序的赛事，尤其是全国青少年电子制作锦标赛。这项赛事共包括电路创新制作、科技创新、模拟机器人、智能寻轨器和遥控编码探雷器5个部分的比赛。参赛选手根据学龄不同划分为青年组、少年组和儿童组三个组别，不同组别根据每个项目的具体要求进行比赛。其中电路创新制作又分为电路创新设计和现场电子制作两个部分，考察了青少年的设计能力、动手制作能力和创新意识。孩子们在“百拼电子世界”中，享受着电子给生活带来的创新与挑战。科技创新比赛是对参赛选手亲手制作的、已完成的科技创新作品进行评分，这些作品是青少年把科技、创意与生活相结合最好的证明，是孩子们展现聪明才智最好的体现，“把科技带进生活，让生活推动科技”是科技创新比赛最好的宗旨。模拟机器人、智能寻轨器和遥控编码探雷器都要求选手在规定的时间内进行现场制作，并分别参加随后进行的行走赛、行驶赛和探雷赛。这种形式的比赛，不仅是一场技术的竞赛，更是一场心理的较量，这对参赛选手提出了全新的要求，是对技术水平、心理素质、应便能力等方面的综合考察。评委会从创新性、科学性、实用性、外观设计、安装工艺和性能等方面，对作品进行综合评分，从而角逐出各类奖项，对参赛选手的成绩予以肯定。

本次大赛参加的选手众多、涉及的内容广泛，立足于为我国培养具有创新意识和创新能力的后备力量。同时，大赛丰富了青少年的课外活动，对提高青少年的意志品格、展现青少年的精神风貌、加强青少年的团队合作能力、促进青少年的全面发展具有重要的意义。

小选手们调试机器人，准备参加行走赛


选手满怀信心地演示亲手制作的科技创新作品

科技创新比赛答辩现场

开幕式上参赛选手宣誓

全神贯注地安装模拟机器人

对讲机常规通信赛比赛现场

◇李衡延

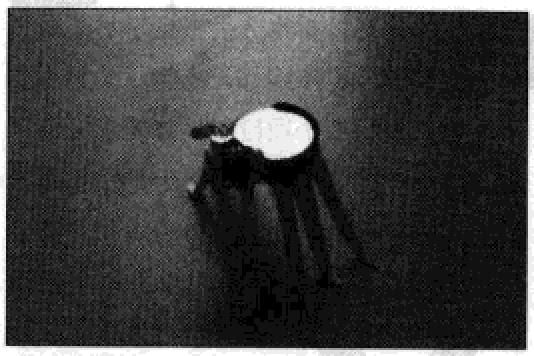
国家级中职电子专业骨干教师“PVCBOT仿生机器人制作”培训实践活动成功举办

2012年8月2号、3号，“PVCBOT仿生机器人制作”培训实践活动在天津职业技术师范大学电子工程学院成功举办。

本次参与实践活动的教师是来自17个省市的36位电子专业骨干教师。大部分教师来自本省市地区龙头中职学校，都是对“一体化教学”有着深刻理解的学科带头人。这项活动得到了DIY-BOT工作室（本刊PVC机器人制作文章连载作者所建工作室）的大力支持。

这项实践活动历时两天，得到了全体培训教师的一致好评。参加培训的教师不但开阔了视野，而且能够亲自参加动手实践，不仅提升了手工制作能力，而且对机器人的制作有了新的认识。

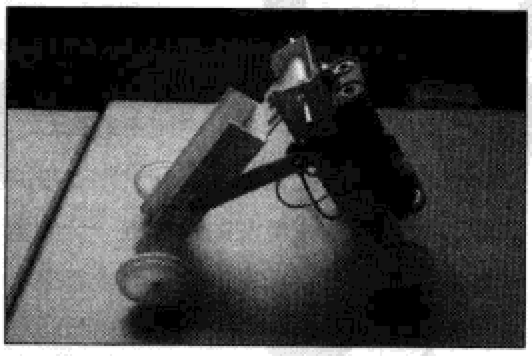
在这次培训活动中，笔者与教师们先后以PVC管为主材，制作了“暴走的臭虫”、“光能小车”、“光能陀螺”、“尺蠖小车”等简易仿生机器人。选择这4款机器人主要考虑到了制作成功率与效果是否突出的因素，同时兼顾突出电子专业的特点，以“脉动充放电电路”与“曲臂连杆结构”为重点进行知识讲授与技能培训。



“暴走的臭虫”

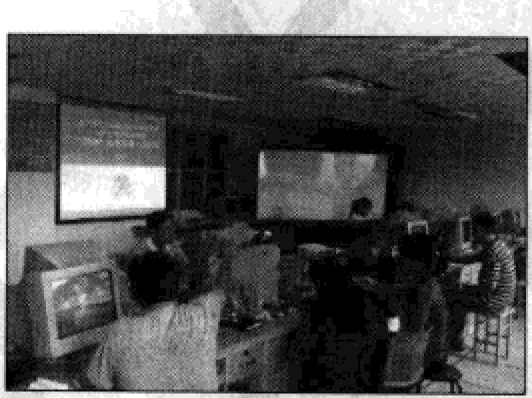
教师们对简易仿生机器人制作项目进入课堂表现出了浓厚的兴趣。制作过程中教师们互相帮助、相互改善、提议创新、扩展思维，很好地体现了项目“一体化教学”的宗旨。

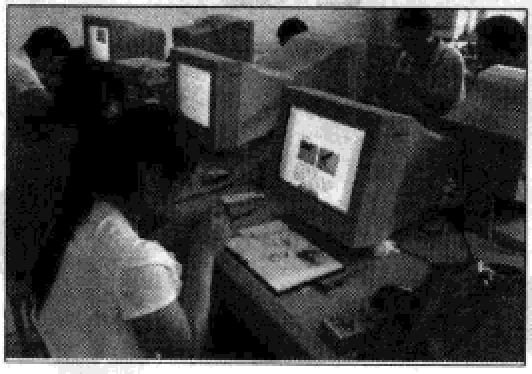
在培训活动中，教师们完成制作后都认为，做好一个仿生机器人远非想象中那么简单。看似简单的机器人，要想做得质量好、效果明显，态度、方法、技巧、耐心缺一不可。特别是电机的固定安装、曲臂连杆结构的制作、PVC电钻准确使用等环节，都考验了每一位教师的细心与耐心。



“尺蠖小车”

“PVCBOT仿生机器人制作”这个项目无论是作为中小学科普课程还是中职电类专业制作的课程，都是信息技术与技能培训有机融合的良好载体。笔者相信不久的将来，BOT系列的制作将会在国内的科学创新教学中扮演更重要的角色。





全国“少年电子技师”认定活动专栏

有关全国“少年电子技师”认定活动问题的解答

《无线电》2012年第8期刊登出全国“少年电子技师”认定活动的通知以后，收到了许多学校和教师的来信以及来电，咨询全国“少年电子技师”认定活动的各种问题，现将问题进行整理并作回答，以供大家参考，欢迎有意向的单位及教师积极参与本活动。

1. 如何申请成为全国“少年电子技师“认定单位?

答：以地区教育部门、学校、少年宫、科技馆、青少年活动中心等为单位提出申请。可以到《无线电》杂志的官方网站www.radio.com.cn或少年电子技师官方网站http://www.imake.com.cn/下载相关表格，填好表格后，发送至邮箱sndz@radio.com.cn。组委会根据之前公布的认定单位标准进行审核，审核通过后即可享有认定单位资格。

2. 参加全国“少年电子技师”认定活动的对象是如何规定的?

答：本活动面向全国爱好电子技术的中小学生，只要对电子技术有兴趣的中小学生均可以参加，根据活动认定标准的能力要求，小学一般建议以三年级以上的学生为主，主要活动建议放在小学3～5年级为宜；初中建议放在1～2年级为宜；普通高中建议放在1～2年级为宜；其他年级的学生也可以参加认定活动；中专、职业高中学校可根据教学的需求和兴趣自行安排。

3. 学生是否可以跳级参加考核?

答：可以，参加认证活动的学生通常根据年龄阶段、培训学习情况，申请参加对应级别的考核活动，也可根据掌握的电子技术知识水平及动手能力，申请参加更高等级的考核活动。

4. 全国组委会是否会安排相应的导师培训活动？什么时间？什么方式?

答：全国组委会拟定于2013年1月前举办第一次导师培训活动。培训的主要内容是了解活动意义、活动规则，解读考核大纲，开展课例示范等，对分委会及认定单位如何开展当地培训项目及如何组织考核进行相应的指导。

全国组委会设计了多种导师培训方式，各地导师可以自主选择在北京或当地进行培训。选择在当地培训的教师要有一定的规模，一般要求在20人以上，组委会根据情况派专业培训教师去当地进行培训。组委会根据各地活动的具体开展情况，酌情调整安排每年的培训次数和培训方式。

5. 认定单位的基本职责是什么?

答：负责组织本地区/学校的学生参加全国“少年电子技师”认定活动的培训、考核、证书申领及发放等工作，配合全国组委会或各地分委会完成相关活动（如展示交流、比赛等）的组织。

6. 全国“少年电子技师”认定活动的发起单位是哪里？活动是否为全国性的活动?

答：全国“少年电子技师”认定活动是一项由中国科协与人民邮电出版社《无线电》杂志在20世纪90年代联合发起的面向全国的课外科技活动。发起此项活动的目的是为了贯彻党和政府提出的科教兴国战略和可持续发展战略，激发广大中、小学生对电子科学的学习和探索兴趣，培养其设计、绘图、制作等各项运用电子技术的技能和创新精神，促使更多的青少年在科技实践中逐步得到锻炼，成长为对社会有用的人才。全国“少年电子技师”认定活动从1997年开始在北京、天津两地试点，于1999年4月向全国部分省市推广，至今已有15个年头了。这一活动对我国科技人才的培养已凸显成效，很多当年的“少年电子技师”现已成为当今社会真正的电子工程师和电子技术专业教师。

7. 全国“少年电子技师”认定活动一年举办几次？分别在什么时间?

答：全国组委会拟定一年举办2～4次全国统一的“少年电子技师”认证考核活动，时间一般定于春季学期和秋季学期，可根据各地学生的培训进展和教学需求酌情进行调整。

全国“少年电子技师”认定活动组织委员会
2012年9月

南京三中业余无线电校本课程的开发与实践

◇王龙（BA4RX）

业余无线电是南京三中的科技特色活动之一。学校在开展无线电科技活动的基础上开发了业余无线电校本课程。作为校本课程，南京三中几乎所有初中学生都参加过业余无线电校本课程的学习。在每年一度的科技节上，该校通过举办多种多样的科技活动让学生充分领略科技的精彩，极大地激发了学生爱科学、学科学、用科学的兴趣。在此基础上，学校成立了课外兴趣小组，每年参加全国及省比赛，多次荣获全国及省青少年业余无线电锦标赛冠军，90多人次获得金、银、铜牌。特别是2007年8月26日，南京三中业余电台成功实现了中国学生与国际空间站宇航员的“天地对话”，成为全球第311个、全国第一个成功参与并实施ARISS计划的学校。

南京三中从多年开发校本课程的实践出发，把加强科技教育、提高学生的科学素养作为实施素质教育的重要途径。为进一步发展学校校本课程，南京三中组织教师编写并出版了《“无线”科技，精彩无限》业余无线电校本课程教材。在专家的指导和支持下，他们向南京市教科所申报了市“十一五”规划课题《中学科技教育校本课程开发的实践与研究》，希望通过总结经验、分析开展现状及存在的问题，进一步开发校本课程，促进富于特色的校园文化的形成，积极探索全面实施素质教育、培养学生全面发展的新途径。南京三中已经成为江苏省和南京市的科普教育基地和南京市中小学科技创新星光基地学校。

南京三中业余无线电台的发展历程，也是学校校本课程的发展历程。BY4RRR是我国最早的中学业余电台之一，先后有美国、澳大利亚、日本、德国、中国香港、中国台湾等国家和地区的无线电爱好者参观过学校业余电台，已经与近一百多个国家的两万多个业余电台进行了通信联络，目前学校业余电台开展了短波通信、卫星通信、数据通信、应急通信等无线电通信活动，并开展了以业余无线电为主题的综合科技实践活动，在国内外享有一定的声誉，并探索了开展青少年业余无线电普及教育活动的方法和途径。

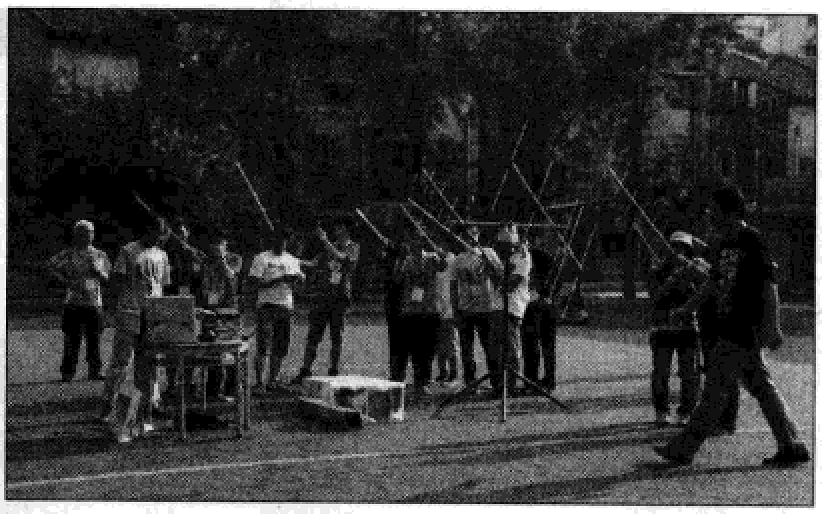
一、开展业余无线电科技通识教育

南京三中坚持在校内开展无线电科技通识教育，对初一新生进行1～2次业余无线电知识讲座，让所有学生对业余无线电知识有所了解，知道业余无线电科技的作用及常用业余无线电设备的简单使用方法。每年学校还利用科技冬令营活动作为平台，面向南京市中小学生开展业余无线电科技基础知识讲座，扩大业余无线电知识的普及面。

南京三中业余无线电台活动合影

学生进行电台训练

江苏省首届无线电能手大赛



中国澳门学生在南京三中开展无线电夏令营活动

二、开设业余无线电校本课程

南京三中每学期在初一年级和高一年级的第一学期开设业余无线电校本课程，讲授无线电的基本原理、作用、使用方法以及发展趋势等内容，让学生比较系统地学习业余无线电基础知识。在初一和高一的第二学期，学校从第一学期参与校本课程学习的学生中，挑选优秀者，参与中级班的学习。中级班主要进行业余无线电的实际操作，培养学生的动手能力和实践能力，并分批安排学生到电台进行通信联络，掌握无线电通信技巧。

三、组建无线电兴趣小组

南京三中利用课余时间，结合南京市中小学科技创新星光基地的周六科技活动日，开展业余无线电操作训练。通过操作训练，提高学生对业余无线电的认识，掌握业余无线电通信的基本技能，同时提高他们对业余无线电的兴趣，提升他们的动手能力和实践能力，使学生掌握一定的探究知识的能力，同时为参与国内外各类无线电竞赛活动培养人才。例如，在卫星通信实践操作中，学生通过反复实践，探究出卫星信号的变化规律，总结出跟踪不同轨道高度卫星信号的方法和对策。同学们结合物理课本中介绍的多普勒效应，在短波信号抄收中，根据多普勒效应的变化，探究出短波信号的变化规律。学生们将这些方法、对策和规律应用在竞赛中，都取得了优异的成绩。

四、建立校外业余无线电志愿者队伍

南京三中通过建立校外业余无线电志愿者队伍，提升活动的深度和广度。目前南京三中拥有两名国外无线电志愿者，以及十多名国内无线电志愿者，为学校的活动提供技术支持和保障的同时，也帮助学校提升了活动品质。比如，一位德国无线电爱好者，经常到学校业余电台参加活动，并在校内开设讲座，给学生带来国外无线电发展的最新动态，同时也锻炼了学生的英语听力。因为无线电志愿者来自各行各业，都具有一技之长和很强的动手能力，他们可以从各个角度给学生展示无线电科技的魅力，同时传授丰富的知识和技能。有一位无线电志愿者，在焊接上有自己独特的方法，他手把手地教给学生，在短时间内，学生就能熟练地焊接了，使学生少走弯路，提高了效率。

志愿者是南京三中科技活动的参与者和策划者，他们会给学校提很好的建议，帮助学校出谋划策，使学校的活动更加丰富多彩，同时也为学校各类大型活动提供了技术保障。在南京三中举办的“天地对话”和“两岸四地”等重要的无线电活动中，都少不了无线电志愿者的身影。

五、以无线电活动为抓手，开展各种科技活动，拓展活动的广度和深度

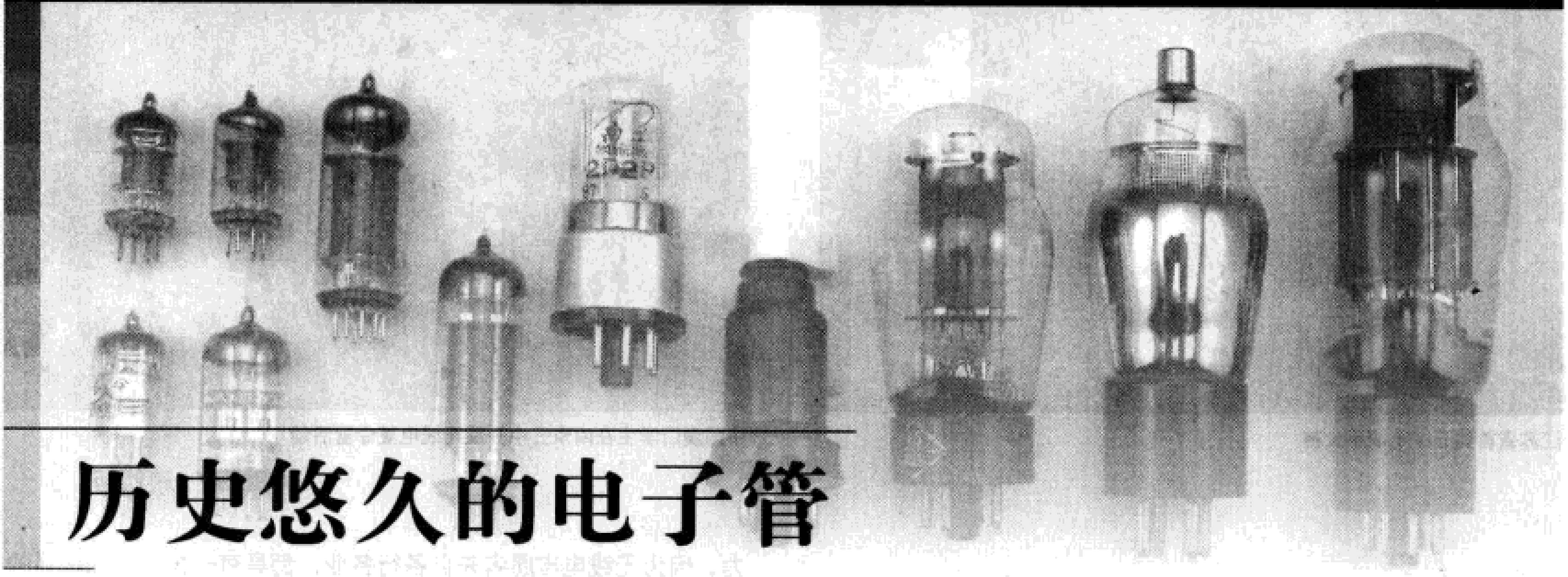
业余无线电活动自身的特点，使其很难在校内大规模开展实践操作活动，被认为曲高和寡。在长期的实践活动中，南京三中注重多条腿走路，一方面坚持无线电科技知识的通识教育，开设校本课程，组建无线电兴趣小组，另一方面，通过各种活动，宣传业余无线电知识，让更多的青少年了解和参与业余无线电活动，让全社会一起来关注青少年无线电科技活动。

近年来，南京三中结合业余无线电的特色，开展和参与了一系列大型科技活动。除了“天地对话”活动，他们还参加了无线电能手大赛、“两岸四地共希望”的全国青少年航天科技体验系列活动、“探梦‘天宫’青少年科学实验搭载活动方案征集”活动、无线电应急通信、青少年业余无线电竞赛、青少年科技创新大赛等活动，举办了多次国际间的合作和交流活动。

在开展和参与各种丰富多彩的活动的基础上，南京三中充分发挥学校的资源优势，开发和实施校本课程，丰富了学校课程的内容和形式，不仅促进了学校的发展，提升了学校的教育品质，更重要的是为学生搭建了科技发展平台，培养了学生的团队合作精神，拓展了学生的创新思维和创新能力。

常用元器件的识别与使用（33）

◇张晓东



历史悠久的电子管

电子管（electron tube）在港台地区通称为“胆”，它是一种在密闭的玻璃管等容器内产生电流传导，并通过电场对处于真空或稀薄气体中的电子流进行有效控制，以完成整流、检波、信号放大或振荡任务的电子器件。因常用电子管的管壳内几乎全被抽成了真空的，仅个别管壳内被充入少量惰性气体或汞蒸气等，所以电子管有真空管（vacuum tube）和充气管（gas filled tube）之分。常用电子管绝大多数为真空管。

电子管作为一种历史悠久的电子器件，在电子技术的发展过程中，做出过很大贡献。后来由于半导体器件的问世及快速发展，电子管逐步让位并退出越来越多的领域。目前在一些高保真音响器材中，仍然使用电子管作为音频功率放大器件，尤其受到音响“发烧友”的追捧和青睐。《无线电》杂志近年来对早期电子管收音机的生动介绍，以及对业余条件下制作“胆机”（电子管功放机）的介绍，不仅引发了许多老读者的怀旧情结，更激发了许多青少年无线电爱好者的动手兴趣。

结构及特性

电子管的种类很多，用途也各不相同。但由于它们几乎都是利用电场对真空中的自由电子传输进行有效控制的器件，所以尽管在结构上各有特点，但其基本部件却有许多相同之处，大体上都是由基座、加热灯丝、电极和管壳组成。其中，电极是电子管的关键结构件，通常有阴极、屏极和栅极等3种电极，它们都是由各种不同的金属或合金（如镍、钼、钨、铬、铜、铁及其合金）制成。

图1所示是常用小型电子管的结构图。由图可知，阴极位于电子管的中央，为锯齿形或圆筒形，其任务是被灯丝加热后发射电子。屏极（亦称阳极或板极）位于各电极的最外层，有平板形、矩形、圆筒形和椭圆形等几种，其任务是接收从阴极发射出来的电子，形成屏极电流。栅极是用很细的金属丝或金属网做成的圆筒形、椭圆形或矩形栅栏，它位于阴极与阳极之间，其作用是控制从阴极发射出来、并最终到达屏极的电子数量，实现最基本的放大电压信号的功能。

不同类型的电子管，栅极的层数也不同，三极管只有一个栅极（即控制栅极）。在三极管的栅极和屏极间加入一个网状电极——帘栅极，就构成了放大能力大幅提升、可用于高频电路的普通四极管。在四极管的帘栅极和屏极之间再加入一个网状电极——抑制栅极，就构成了能够抑制屏极“二次电子发射”、使屏极特性曲线起始段变得平滑的五极管。还有一种常用的束射四极管（也叫集射四极管），它是指有阴极、控制栅极、帘栅极、屏极和集射屏的四极管，其中集射屏装在帘栅极和屏极之间，并与阴极相联，可使电子流从集射屏的开口处集中射向屏

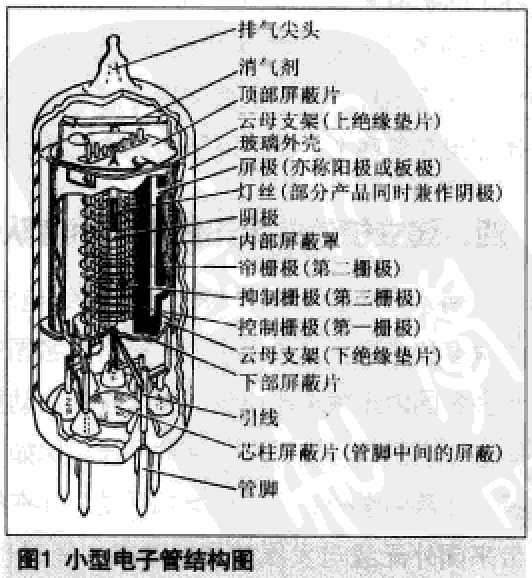


图1 小型电子管结构图

极，不仅增大了屏流，而且同样能够有效地抑制屏极的“二次电子发射”，进一步增强放大能力。束射四极管几乎全部都是能够产生较大屏极电流的功率管，其放大能力明显优于普通三极管，综合性能高于五极管，使用非常普遍。如果电子管内部一个栅极都没有，就构成了只有阴极和屏极、具有整流或检波作用的二极管。

电子管的阴极加热方式可分为直热式和旁热式（也称间热式）两种，直热式电子管的阴极和加热灯丝“合二为一”，而旁热式电子管的阴极和加热灯丝是彼此靠近且分离的。当电子管控制栅极的栅圈间距相等时，其屏极电流随栅极电压变负并具有较陡的截止特性，称作锐截止管；当栅圈的间距有疏密时，其屏极电流随栅极电压变负时截止较慢，称为遥截止管或“变跨导管”、“变μ管”。

电子管的各电极安装在绝缘基座上，并被密封在抽去空气的真空管壳内。管壳几乎都采用了玻璃外壳，但也有外加金属外壳的。需要说明的是，由于制造工艺、杂质附着以及材料本身等原因，电子管内会残留微量余气。为保证管内真空度，成品管都在管内安置或在管内壁涂敷一层消气剂（也称吸气剂、除气剂）。消气剂一般使用掺氮的蒸散型锆铝或锆钒材料。为便于使用和增加一致性，常将两只相同的电子管或不同的两个电子管合装在一个管壳内，这就是所谓的“复合管”。

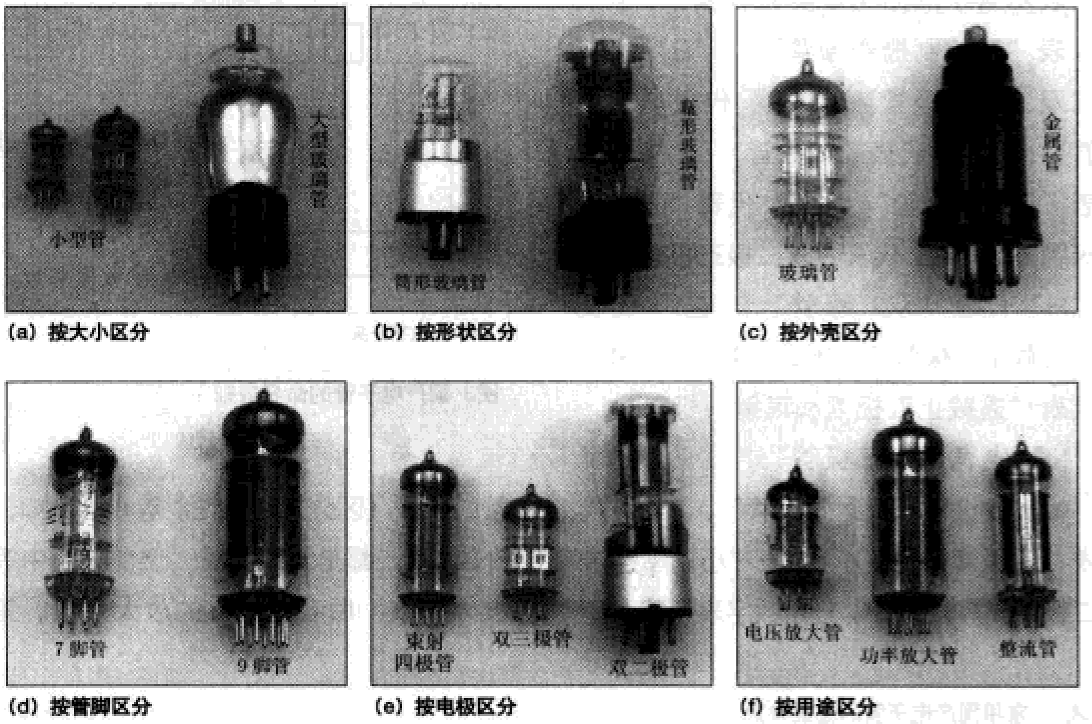


图2 常用电子管的分类

外形及种类

常用电子管的外形实物如图2所示。按其大小可分为大型管、小型管（花生管、指形管或MT管）和超小型管（铅笔形管）等，图2（a）所示为最常见的小型管和大型玻璃管（G式管），按其形状不同，可分为瓶形玻璃管(ST管)、筒形玻璃管（GT管、金属玻璃管）、球形管、锁式管等，图2（b）所示为最常见的筒形玻璃管和瓶形玻璃管，按外壳材料不同，可分为图2（c）所示的玻璃管、金属管两大类，按管脚数量不同，可分4、5、6、7、8、9、11、12、14、20、25脚等，图2（d）所示为最常用的7脚和9脚电子管，按电极数不同，可分为二极管、三极管、四极管、束射四极管、五极管、六极管、七极管和复合管等，图2（e）所示为最常用的束射四极管和复合管——双三极管、双二极管，按用途不同，可分为电压放大管、功率放大管、混频或变频管、整流管、检波管、调谐指示管等，图2（f）所示为最常用的电压放大管、功率放大管和整流管。

小型电子管由于具有一系列的优点而得到普及应用，国际上作为推荐品种，具有广泛的国际互换性。

基本参数

电子管在各种放大电路中，与放大器效果关系最密切的参数为跨导S、内阻Ri和放大系数μ，其定义和相互间的关系如下。

（1）跨导*S*（mA/V）。也称“互导”，表征了电子管栅极电压对屏极电流的控制能力。一般三极管的跨导值为0.5～10mA/V，*S*值越大，说明栅极电压对屏极电流的控制能力越强。

（2）内阻*Ri*（kΩ）。一般三极管的内阻值约在0.5～100kΩ，内阻愈小，屏极电压控制屏极电流的能力就越强。

（3）放大系数*μ*。它表征了电子管栅极电压对屏极电流的控制能力较之屏极电压对屏极电流的影响强多少倍。一般三极管的放大系数为2.5～100，*μ*值越大，说明电子管的放大品质越高。

上述三者的关系，可用公式$\mu = S \times Ri$来表示，该公式被称为电子管的内部方程式。如果知道了3个参数中的任意两个，便可求出余下的一个。

型号命名

国产电子管型号命名分为数字开头和字母开头两大类型，各类型管一般均包括4个部分，其格式和含义如图3所示。

以数字开头的型号命名，主要用于放大、收信、小型整流、调谐指示等电子管，其格式和含义见图3（a）。第一部分用数字表示灯丝电压的整数部分，其中“1”代表灯丝电压为1.2V，“2”代表灯丝电压为2.4V，“5”代表灯丝电压为5V，“6”代表灯丝电压为6.3V，“12”代表灯丝电压为12.6V。第二部分用字

母表示管子的结构及类别，其中“A”代表“双控制栅变频管”，“B”代表“双二极五极管”，“C”代表“三极管”，“D”代表“二极管”，“E”代表“调谐指示管”，“F”代表“三极五极管”，“G”代表“双二极三极管”，“H”代表“双二极管”，“J”代表“锐截止五极管和束射四极管”，“K”代表“遥截止五极管和束射四极管”，“N”代表“双三极管”，“P”代表“输出五极管和束射四极管”，“S”代表“四极管”，“Z”代表“小功率整流二极管”等。第三部分用数字表示同类型管的序号（区分规格、性能等）。例如，6N1和6N2都是双三极管，但前者为中等放大系数，后者有较高的放大系数。第四部分用字母表示电子管外壳的材料和形状，其中“P”代表普通玻璃外壳管，“K”代表金属陶瓷管，“J”代表橡实

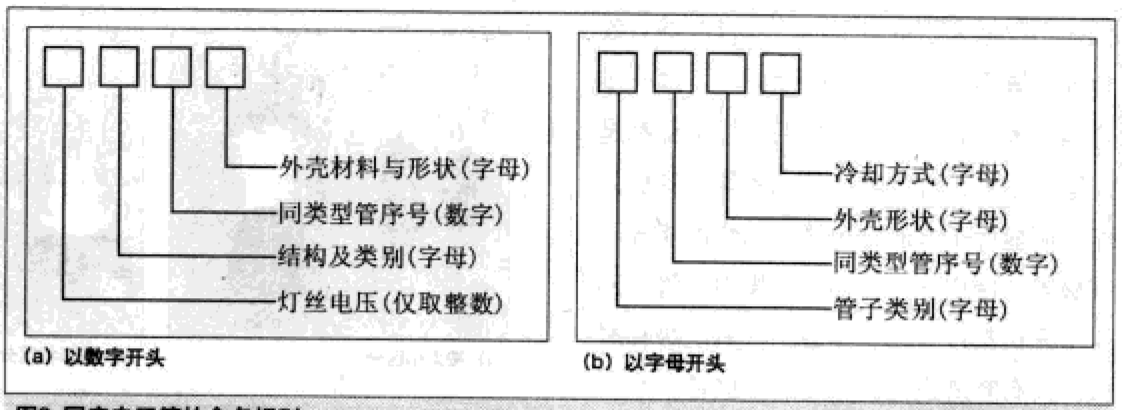
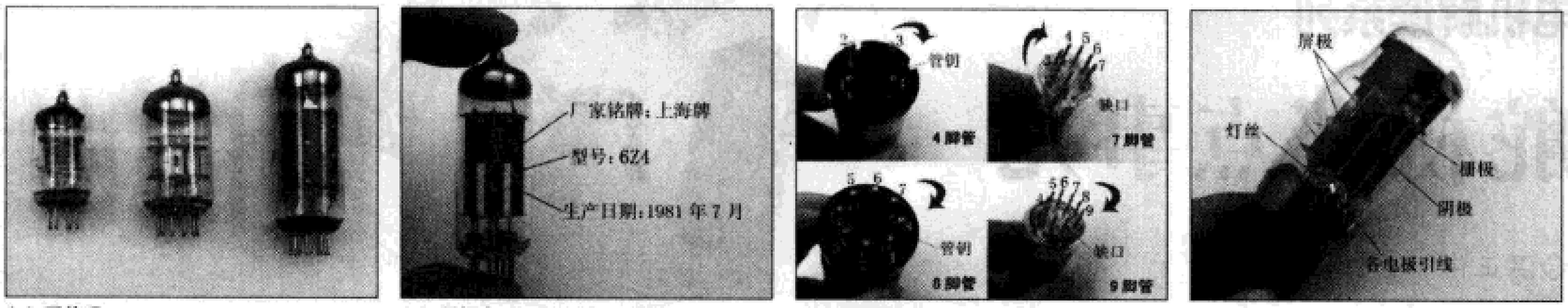


图3 国产电子管的命名规则

表1 常用国产电子管的性能参数

型号	主要用途	灯丝电压(V)	灯丝电流(A)	第一栅极电压(V)	第二栅极电压(V)	第二栅极电流(mA)	屏极电压(V)	屏极电流(mA)	跨导(mA/V)	放大系数	输出功率(W)
6N1	低频电压放大	6.3	0.6	自偏电阻600Ω			250	7.5	4.35	35	2.2
6N2		6.3	0.34	-1.5			250	2.3	2.1	97.5	1
6N3	高频电压放大	6.3	0.35	-2			150	8.3	5.9	35	
6N4	低噪声低频电压放大	并联6.3 串联12.6	0.34 0.17	自偏电阻600Ω			250	2.3	2.1	97.5	
6N5P	电子稳压电路	6.3	2.5	-7			90	60	4.45		
6N7P	低频功率放大	6.3	0.8	-6			300	7	3.2	35	≥4.2
2P2		1.2/2.4	60/30	-3.5	60	≤1.2	60	3.5	≥0.9		≥0.5
6P1		6.3	0.5	-12.5	250	≤7	250	44	4.9		≥3.8
6P3P		6.3	0.9	-14	250	≤8	250	72	6	135	≥5.4
6P6P		6.3	0.45	-12.5	250	≤7.5	250	45	4.1	205	≥3.6
6P14		6.3	0.76	自偏电阻120Ω	250	≤7	250	48	11.3		≥4.2
6P15	视频输出电压放大	6.3	0.76	自偏电阻75Ω	150	≤6.5	300	30	14.7		
6J1	宽频带高频电压放大	6.3	0.175	自偏电阻200Ω	120	≤3.2	120	7.35	5.2		
6J2	混频及宽频带高频电压放大	6.3	0.17	自偏电阻200Ω	120	≤3.7	120	5.5	3.7		
6J3	高频电压放大	6.3	0.3	自偏电阻200Ω	150	≤3	250	7	5		
1A2	变频	1.2	0.03	0	45		60	0.7	≥0.17(变频) ≥0.65(振荡)		
6A2		6.3	0.3		100		250	3	≥0.3(变频) ≥4.5(振荡)		
6A7P		6.3	0.3		100		250	3.5	0.45(变频) 4.7(振荡)		
12A7P		12.6	0.15		100		250	3.5	0.45(变频) 4.7(振荡)		
FU-5	调幅、低频放大	10	3.25	-10			1500	200			215
FU-7	低频放大、倍频、振荡、调幅	6.3	0.9	-29	300	4	600	36	6	135	28
6E1	调谐指示	6.3	0.3	-15			250	2	>0.5		0.2
6E2		6.3	0.3	-15			250	2	>0.5	20	0.5
6E5P		6.3	0.3	-4			250	5.3	1.2	24	
2Z2P	整流	2.5	1.75				4500	47.5			
5Z1P	全波整流	5	2				350	125			
5Z2P		5	2				400	125			
5Z3P		5	3				500	230			
6Z4		6.3	0.6				350	75			
6Z5P		6.3	0.6				400	70			



(a) 看外观　(b) 看标志　(c) 看管脚　(d) 看内部

图4 常用电子管的识别方法

管，无字母代表ϕ19～22.5mm的小型玻璃管（即花生管）等。例如，6A2型表示灯丝电压是6.3V的七极变频管，为小型玻璃管，6P1型表示灯丝电压是6.3V的输出束射四极管，为小型玻璃管，6P6P型表示灯丝电压是6.3V的输出束射四极管，为普通玻璃管。

以字母开头的型号命名，主要用于发射、高压整流、稳压、闸流等电子管，其格式和含义见图3（b）。第一部分用字母表示电子管的类别，其中“F”代表“发射管”，“FD”代表“长波或短波发射管”，“FU”代表“超短波发射管”，“FC”代表“分米波发射管”，“FL”代表“厘米波发射管”，“FM”代表“脉冲发射管”，“E”代表“真空高压整流二极管”，“EQ”代表“充气整流二极管”，“EG”代表“汞气整流二极管”，“EM”代表“真空脉冲整流二极管”，“T”代表“调制管”，“WY”代表“稳压管”，“ZQ”代表“充气闸流管”等。第二部分用数字表示同类型管子的序号，主要区分规格、性能等，一般多在序号前面增加上短“-”号。第三部分用字母表示外壳的形状，具体与以数字开头的第四部分相同。第四部分用字母表示管子冷却方式，其中“S”代表水冷管，“F”代表风冷管。充气整流管的第四部分常用分数来表示，分子表示允许的屏极电流平均安培数（即整流电流值），分母表示最大反峰电压千伏数。而有些电子管则省略了第三、四部分。例如，FU-5型表示发射专用三极管，FU-7型表示发射专用束射四极管，FU-10S型表示水冷方式的发射管，EG1-0.3/8.5（866）型表示汞气整流二极管，其最大屏极电流平均值为0.3A，最大反峰电压为8.5kV。

在上述基本型号后面，有时还附加补充特性代号（常单独标印在电子管外壳上）。如“Q”代表高可靠与机械强度管，“S”代表长寿命管，“T”代表特等军级管，“J”代表合格的军级品，“M”代表合格的民用品。表1汇集了一些常用国产电子管的型号及性能参数，仅供参考。

产品标识

常见电子管均为玻璃外壳，且多数是小型全玻璃外壳管，如图4（a）所示。由于其外形特征与其他元器件有着明显的差别，所以一般不需要查看型号和检测，使用者一眼就可以确认出电子管的身份。

电子管的外壳上均标出了厂家铭牌、型号、生产日期等，如图4（b）所示，这给使用者带来了很大的方便。

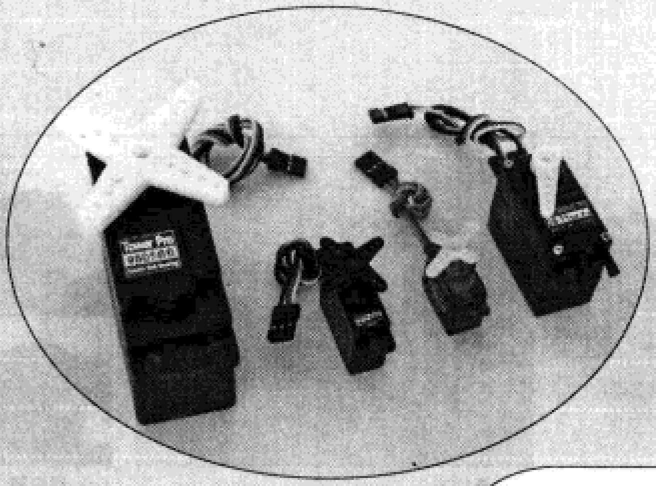
电子管各电极的引线大多是通过管脚引出来的（也有少数电极是从管顶引出），随着电子管电极数的增加，其管脚数也相应地增加。常见的电子管管脚数有4、5、6、7、8、9、11、12、14、20、25等。最少的为3个脚，但因3个脚的管脚在使用中不方便，所以都用4脚来代替，其中一个脚空着不用，如图4（c）左上所示。具有5、6个脚的管子一般都是旧式电子管。最常见的电子管多为7脚、8脚和9脚。7脚管是小型花生式管子，它的管脚位置是按8个脚等分，而空出一个脚位不作管脚，以防止错接，如图4（c）右上所示。8脚式管子的8个脚是等距的，为防止插错位置，在中心增设了一个“管钥”（即定位插脚），其样式如图4（c）左下所示。9脚管是小型电子管，它的9个脚设在10个平均等距位置中的9个位置上，其中一个位置空着没有管脚，如图4（c）右下所示。所有电子管管脚的编号是将电子管反转过来，管脚朝上，从最大缺口（小型管）或“管钥”凸起部分（八脚管）开始，依次顺时针排序为l、2、3、4……的。这种管脚排序方法，跟集成电路完全一致。

由于常用电子管几乎全部采用了玻璃管外壳，所以透过玻璃壳可以看到里面的主要结构件——灯丝、栅极、屏极等，如图4（d）所示。并且通过仔细观察栅极和屏极数目，可确定出管子是二极管、双二极管、三极管、双三极管、四极管、五极管，还是束射四极管等。通过“追根寻源”，细查内部各电极引线，可以区分出相通的各管脚，这对于识别标识已模糊不清的电子管是行之有效的好办法。

电机解读系列

舵机那点事儿

◇温正伟



舵机（英文为Servo）最早出现于航模运动中，它是遥控模型用于控制动作的动力源。玩过遥控模型的朋友都知道舵机长什么模样，为了适用于各种模型，舵机发展出各种类型和大小的型号。舵机可以看成是一个封装了电机、控制及反馈系统的动力总成，它使用简单、动力强劲，能按照信号的要求精确地控制电机轴的位移角度，通常也被人们用于制作小型机器人、玩具并用于设备动作的动力源等。图1所示是一款风靡世界的小形遥控机器人玩具I-SOBOT，它使用了多达十几个微型舵机，用于各关节的动作和动力，使其能模仿人类的各种基本动作。

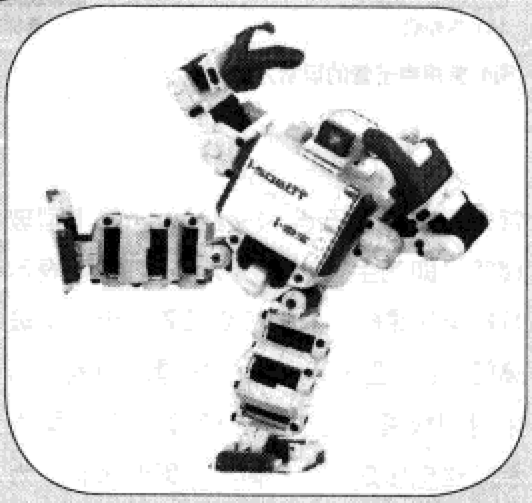


图1 I-SOBOT机器人

舵机的分类

舵机的分类很多，按模型类型可以分为航模、车模以及船模用的。航模用舵机要求速度快、精度高，而车、船模用的一般要求具有扭力大和具有防水性的。按减速齿轮可以分为金属齿和塑料齿，使用金属齿具有扭力大、寿命长、价格高的特点。按控制电路可以分为模拟舵机（标准舵机，Standard Servo）和数字舵机（Digital Servo），数字舵机有反应速度更快、无反应区范围小、精度更高等新特性。舵机的规格型号则主要是以转矩和速度来分类，一个标称值为0.0004N·M/0.21的舵机，就是指舵机输出轴带动1m长的摇臂时，在最末端能发出0.0004N的力，并且能在0.21s内完成60°的角位移。

舵机的组成

舵机是由外壳、电机、减速齿轮组、传感器、控制电路和接口线缆组成的伺服系统，其结构如图3所示。舵机的电机有用普通小型直流电机的，也有用无刷电机的。使用无刷电机的舵机有稳定性强、寿命更长、精度更高、扭力更大等特点。图4就是一款使用无刷电机的舵机。图3所示的舵机齿轮组是塑料的，而图4的型号则是金属齿轮组。舵机的位移传感器是一个电位器，无论模拟舵机还是数字舵机都会用到，其阻值一般为5kΩ。

控制电路板主要由电机驱动电路和

图3 舵机结构

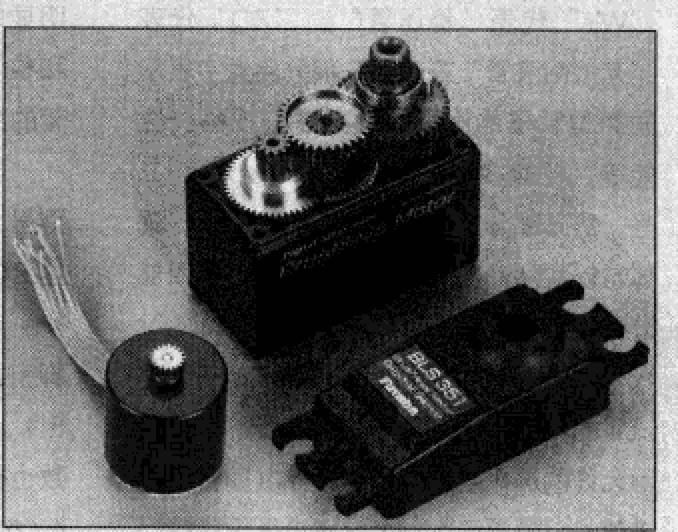


图4 金属齿轮组和无刷电机

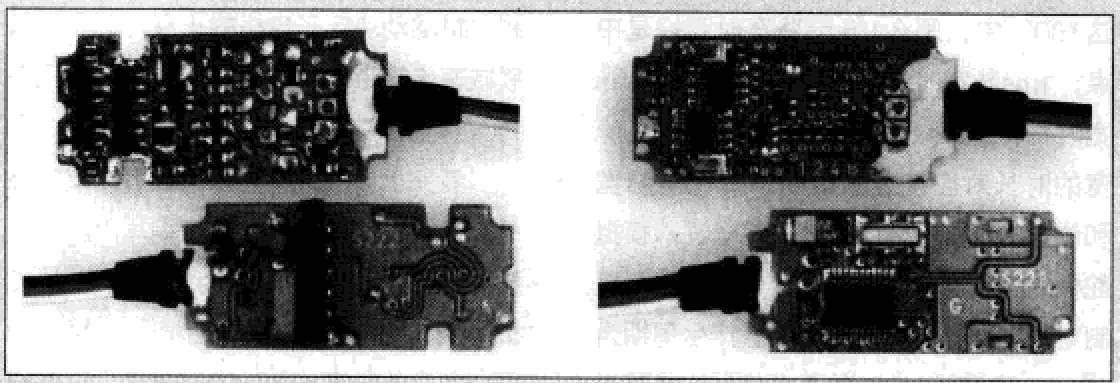


图5 舵机里的电路板

信号电路组成，驱动电路由晶体管或FET场效应管组成的放大电路构成，采用场效应管驱动可以获得更大的驱动能力。模拟舵机的信号处理电路由专用的直流伺服电机控制芯片构成，一般只能接收频率为50Hz的PWM信号输入，而数字舵机的信号处理电路由微处理器构成，可以接收频率为300Hz的PWM信号输入。也就是说，模拟舵机受到输入频率的限制，要20ms才可以反应一个动作，而数字舵机则能在短几倍的时间内执行动作。图5是模拟舵机和数字舵机的PCB，左边的是模拟舵机，由晶体三极管加直流伺服电机控制芯片构成，右边的是数字舵机，采用了场效应管加微处理器的方式构成。

舵机的工作原理

当信号接口收到信号后，控制电路对信号作出计算和反应，驱动电机运转，电机带动舵机输出轴输出力矩，同时也会带动电位器。对于舵机来说，这个电位器就是位置传感器，它的当前阻值代表着电机轴所处的位置。电机转动时电位器的阻值也发生变化，控制电路读取电位器的阻值，并与计算出来的值进行对比，其阻值不是计算值时，电机继续转动。当转到信号要求位置时，电路控制电机停止运转，完成一个信号所要求的动作。当电机轴受到外力发生偏转时，舵机会通过电位器感知到位置偏移，启动电机进行校正。从舵机原理的基本流程图可以看出，它是一种闭环的控制系统。闭环控制是根据控制对象的输出反馈来进行校正的控制方式，它是在测量出实际与计划发生偏差时，按定额或标准来进行纠正的。闭环控制根据输出量变化取出控制信号作为比较量，反馈给输入端，控制输入量。舵机正是利用这个原理，用电机及齿轮组输出，并利用随之产生的电位器阻值变化量作为反馈量，控制电机是继续运转还是停止。

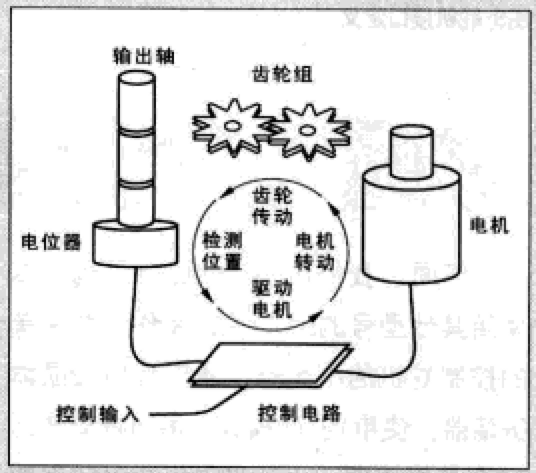


图6 舵机的闭环控制系统

舵机如何控制

数字舵机为了能用在旧的模型和舵机控制器上，一般都会兼容模拟舵机的接口和控制方式，所以这里我们只讨论传统的模拟舵机的控制方法。

在各种模型中使用舵机时，一般都是直接使用多通道接收机，舵机连到接收机上，通过遥控器就可以对舵机进行控制了。图7就是一款多通道车模用的遥控器和接收机。现在也有许多多路舵机程序控制器，一般用于机器人等制作中，可以通过电脑、手机或其他界面进行控制，有的甚至可以控制多达32路以上的舵机。舵机的接口引脚定义如图8所示，有一条线为地线，有一条线为电源线，电源的标称范围为4.8~6V，也就是4节1.2V或4节1.5V电池都能适用。而用于非模型用途时，一般是使用5V电压对其供电，还有一条线则是控制信号线（也可能是白色），信号格式为PWM。

图9就是标准舵机所要求的PWM信号波形，周期为20ms，高电平脉宽最小1ms、最大2ms，一些特殊的舵机可

图7 遥控及接收机

能有点不一样，如parallax公司推出的一款机器人用的舵机的高电平脉宽是0.75~2.25ms。舵机的设计用途决定了它的输出轴是否能连续转动，输出轴能转动的范围是由舵机设计时的结构所决定的，一般最大是180°，模型用的大多在120°之内，也有一些专用于机器入的舵机可以达到200°。

下面我们以转动范围为180°的舵机为例加以说明。把1~2ms的脉宽划分到这180°中，那么1.5ms脉宽时正好是中点，1ms脉宽时左转到极限位置，2ms脉宽时右转到极限位置，在这个范围内，脉宽的时长对应特定的角度。图10是脉宽和位置的对应示意图。控制信号进入模拟舵机的控制电路，获得直流偏置电压，控制电路内部有一个基准电路，产生周期为20ms，宽度为1.5ms的基准信号，将获得的直流偏置电压与电位器产生的电压进行比较，获得电压差输出，正负电压差输出到电机驱动决定了电机的正反转，通过级联减速齿轮带动电位器旋转，直到电压差为0，电机停止转动。

看完上面的介绍，如果读者朋友熟悉单片机编程，应该可以很快编写出舵机的控制程序。以转动范围为0～180°的舵机为例，信号脉宽是1～2ms，计算得知每个角度的脉宽约为0.00556ms，只要把1ms加上角度值，乘以0.00556ms，就可以得到角度值所需要的脉宽值。

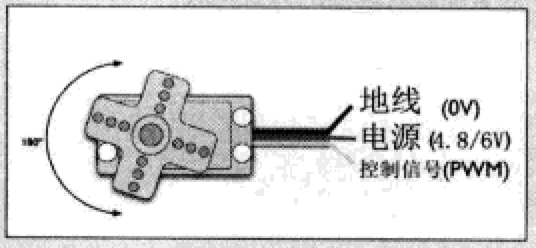


图8 舵机接口定义

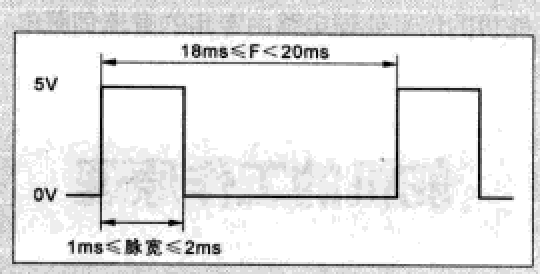


图9 舵机PWM信号要求

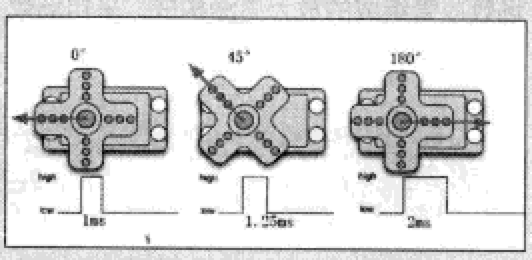


图10 脉宽和位移示意图

简易舵机控制电路实验

下面，我们用STC89C51（也可以使用其他型号的51芯片）制作一个简单的控制舵机的小实验。使用12MHz晶体振荡器，使用12T的模式，每时钟周期为12个晶振周期，也就是说每个时钟周期为0.001ms。使用芯片内的定时器最小可以生成0.001ms脉宽。对比上面的数据，我们可以得知，这个数值并不足以精确输出每个角度的脉宽值，不过我们主要是实验舵机的控制方法，若需要更高精度，可以换成更高频率的芯片或用STC89C51的6T模式去实现。单片机程序中定时器0先对高电平计时，到达后再计时生成20ms减去高电平时间的低电平脉宽，主程序不断使舵机变换5个角度。电路只使用最小系统。具体的实验电路如图11所示。C4是电解电容，容量在470μF或以上，因为某些舵机工作时电流会比较大，这个电容可以使电源电压在舵机工作时不会被拉低。

笔者用这个程序驱动TowerPro MG995舵机，用标准1～2ms信号可以让其正常工作，但这个舵机动作转角范围只有90°，要想让它工作在0～180°，脉宽要在0.5～2.5ms，因此笔者在与本文相关的压缩包里提供了两份代码，供大家参考，读者也可以到以下网址参看用两份程序驱动MG995舵机时的不同结果的视频http://www.cdle.net/thread-48314-1-1.html。图12是本实验的实物电路。

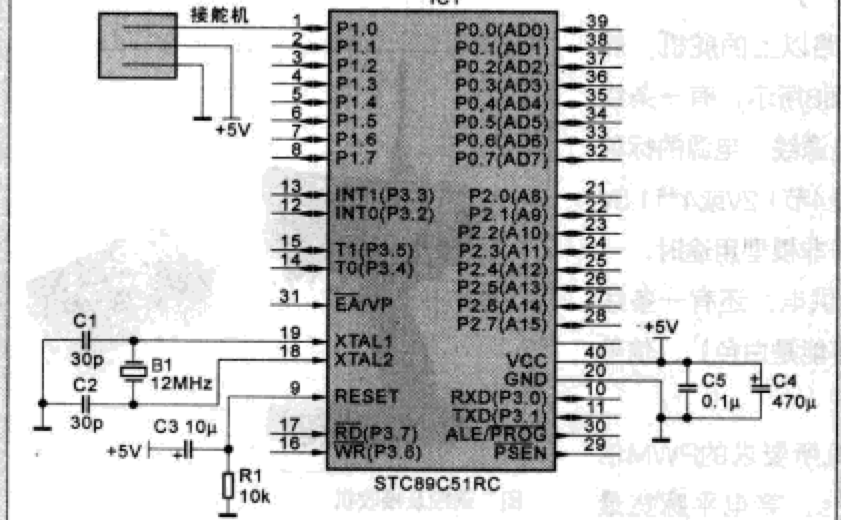


图11 实验电路图

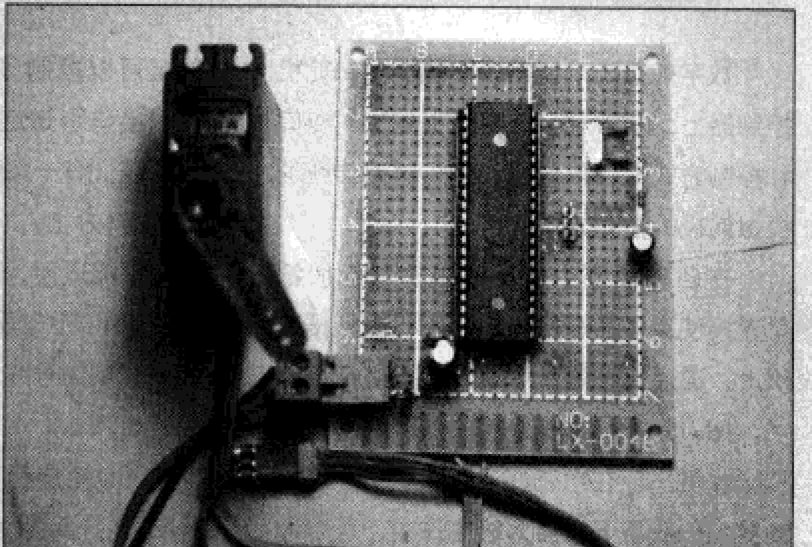


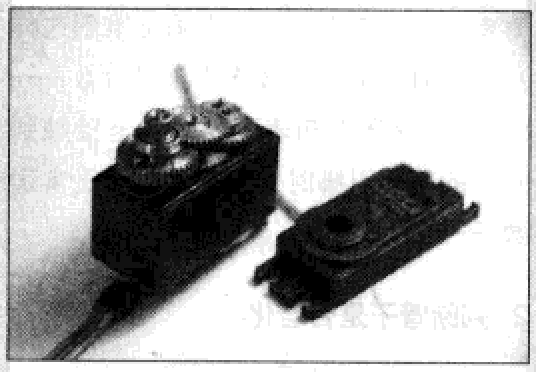
图12 实验电路板

舵机的改造

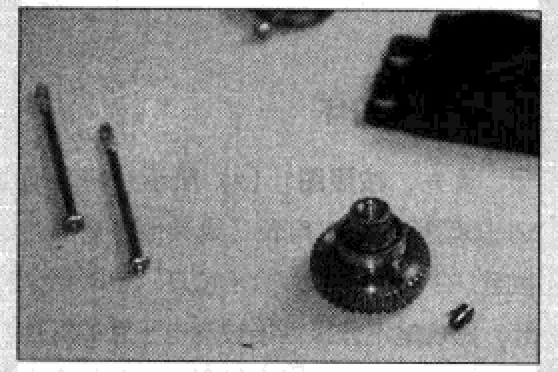
看完上面的介绍，你是不是会认为舵机既有强劲有力的减速装置，又可以精确控制，如果能360°旋转的话，用于机器小车的制作不是很方便吗？确实是可以这样的，只是市场上售卖的舵机一般不能连续旋转，不过我们只要对它进行小小的改动就可以实现了，但不是所有型号的舵机都适于改动。修改后的舵机同样使用原有的驱动方式，只是改变信号脉宽时不改变其角度，而是改变其转向，输入中点1.5ms信号时舵机停转，因此通过改变信号周期和脉宽就可以实现舵机的转向、停止以及调速。

改动使用的原理其实就是把位置传感反馈信号从闭环系统中断开，形成开环系统。通常需要改变舵机内部的结构，如果不是必要的，最好不要进行，以免造成浪费。MG995是一款小型大扭力的金属齿模拟舵机，它的结构可以很简单地改装成可连续转动的舵机。只需要以下几个步骤。

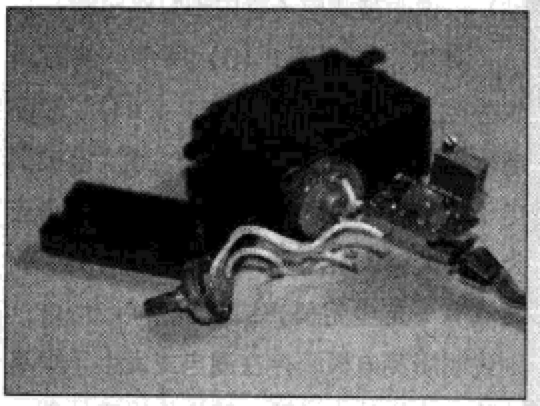
❶ 打开外壳找到齿轮组上的限位销。



❷ 用钳子拔去限位销。



❸ 拆除电位器，用小型精密可调的5kΩ电位器取代原电位器。先把换上的电位器调到中点，也就是两边阻值为2.5kΩ，再向舵机输入1.5ms的信号，让舵机旋转，然后细调电位器，直到舵机停转。装好外壳，改装完成。改装后的运行情况可以看一下视频：http://www.cdle.net/thread-48314-1-1.html。



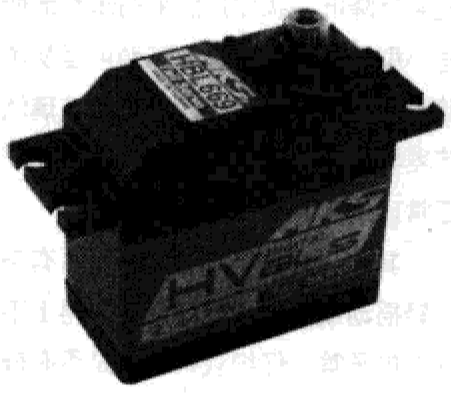
舵机的选择

市场上的舵机有塑料齿、金属齿或者微型、标准尺寸、大尺寸等区分，也有按其重量来区分的，比如2.5g、3.7g、4.4g、7g、9g等，通常重量越大，体积和扭力也越大。上面文章介绍的用于改装的辉盛 MG995是标准舵机，因为它是金属齿的，其扭力比同型的塑料齿的Futaba S3003的标称扭力要大很多。

对于模拟和数字舵机的选择要根据实际需求而定。如果要求高精度、高性能，自然是选用数字舵机为佳。一般舵机的标称反应速度常见的有0.22s/60°、0.18s/60°，好一点的舵机的标称反应速度有0.12s/60°等。这个数值是表示输出轴转过60°时需要的时间值，数值小反应就快。生产舵机的厂商有很多，价格、性能和质量也各不相同，常见的知名厂商有Ftaba、Hitec、Airtronice、辉盛、银燕、MKS等。

Tips 舵机新品

MKS公司新近推出HBL665/669两款用于航模直升机的高压无刷舵机，外壳中段使用铝合金利于散热，电机是无刷电机，电压支持是6~8V，这样可以不通过稳压电路直接连接2个锂聚合物（LiPo）电池提供的7.4V电压，使用更加方便。



ALIGN公司新推出了两款用于航模的舵机DS615/655，都是数字舵机，工作电压是传统的4.8~6V，重量为56g，速度是0.09s/60°和0.06s/60°。外壳中段使用侣合金，合金齿轮组。

用好手中的电子管

◇张晓东

上期笔者介绍了电子管的一些基本知识，作为一种历史悠久的电子器件，电子管一直受到不少无线电发烧友和音响发烧友的热捧，但也因为其生产年代较早，很多爱好者手中的器件多是老器件了，因此在使用时更应该注重前期的检测并遵循使用的常识。

电子管简易测试方法

业余条件下，通过直接观察看来衡量电子管品质及好坏的方法是：

首先，电子管内玻璃壳顶部的颜色在正常情况下应为银色或黑色。若已变成乳白色或浅黑色，则说明该电子管己漏气或老化。使用较长时间的旧管，会在阴极相对的顶端玻璃壳上出现一个镜面斑，越旧则斑越大，小型管则整个玻璃壳会发灰，透明度降低，犹如用旧的白炽灯泡般。某些小型电子管的底边玻璃颜色呈灰黑，或管脚周围有某种痕迹，系厂家玻璃烧结工艺差异所致，并非已使用过的旧管，应属正常现象。

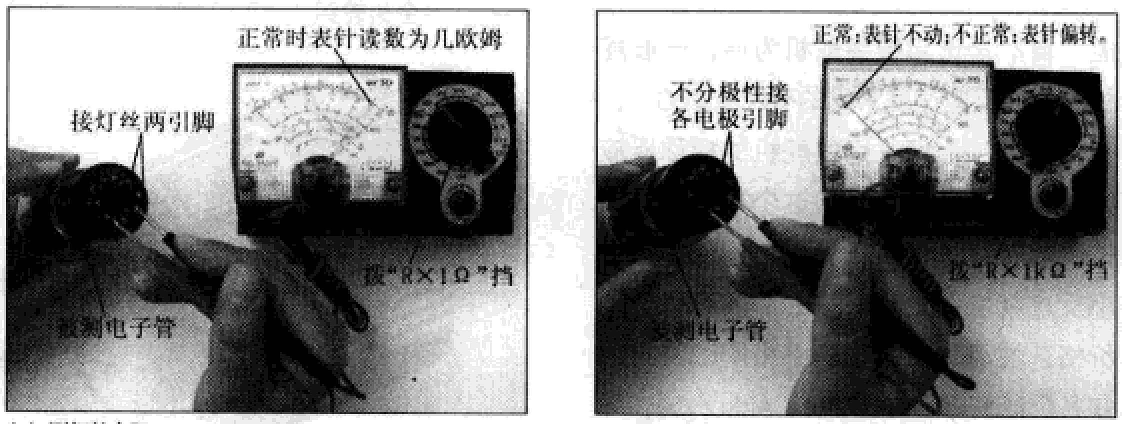
其次，观察电子管内部是否有杂物，轻轻摇动或用手指轻弹管壳，再上下颠倒几下电子管，仔细观察管内是否有碎片、白色氧化物、碎云母片等杂物。若电子管内部有杂物，则说明该管曾受到过剧烈振动，其内部极间短路、灯丝断开的可能性较大。若管子的玻璃外壳出现明显的裂纹或排气尖口（封口）破损，则说明该管已经漏气，一般只能作报废处理。

通过上述“观察法”判断电子管基本正常后，还可借助普通万用表作进一步的检测：

1. 检测管子好坏

首先，按照图1（a）所示，将普通MF50型指针式万用表（或其他万用表）拨至“R×1Ω”或“R×10Ω”电阻挡，红、黑表笔不分极性接被测电子管的灯丝电极两引脚，正常时表针所指电阻值应为数欧姆。如果电阻值为无穷大（表针不动），说明被测电子管内部灯丝已断开。

其次，按照图1（b）所示，将万用表拨至“R×1kΩ”或“R×10kΩ”较高电阻挡，红、黑表笔不分极性逐次接被测电子管的各电极引脚，正常时电阻值均应为无穷大（表针不动）。如果表针发生偏转（有一定电阻值）或表针所指为0Ω，则说明所测电极间存在漏电或发生了短路故障，这样的电子管一般均作报废处理。电子管发生极间漏电或短路故障时，多数情况下出现在阴极与灯丝之间，其他各极则很少有这种可能。检测时注意区分两种情况，一是有些电子管的某个电极采用了同一电极连接两个甚至3个引脚的方案，当万用表的两个表笔接触到这样的引脚时，指针读数均为正常读数——0Ω，二是当万用表的两个表笔接触到灯丝的两个引脚时，指针读数为正常读数——仅数欧姆。



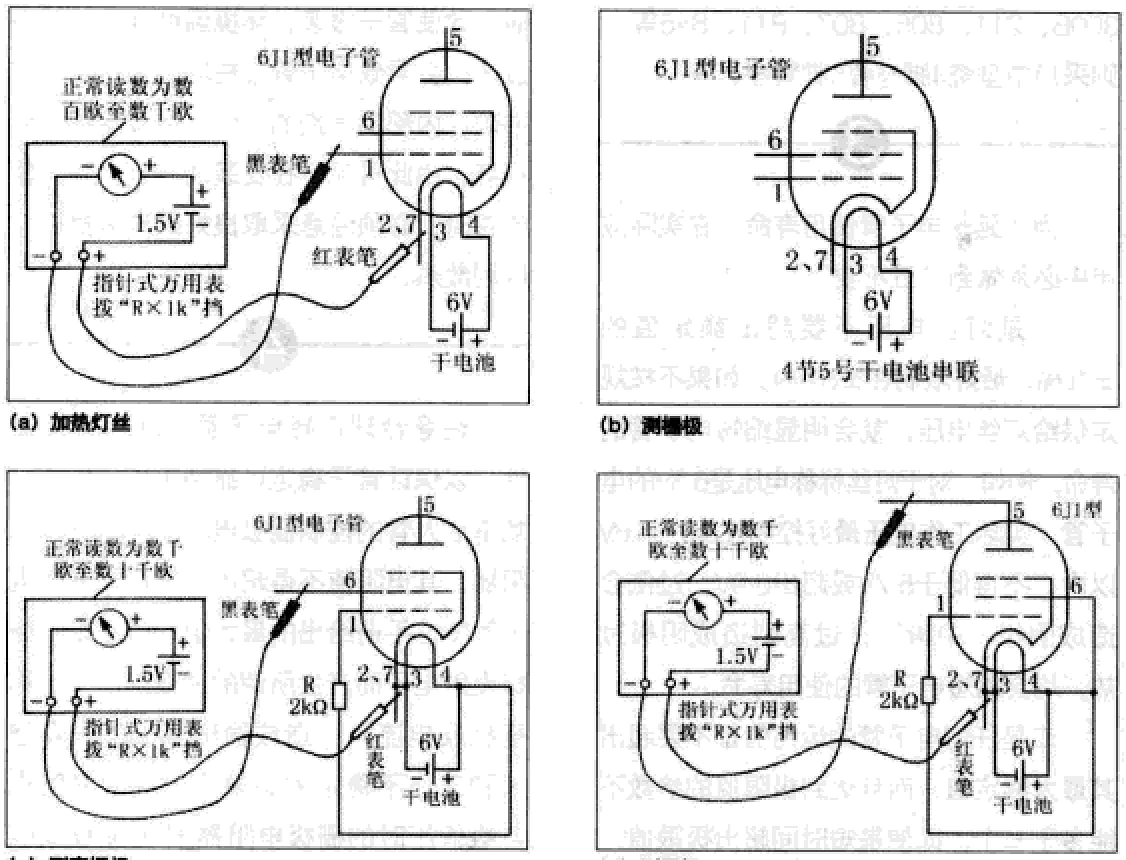
(a) 测灯丝电阻　(b) 测极间电阻

图1 检测电子管好坏

2. 判断管子是否老化

决定电子管质量和寿命的主要因素，是阴极的发射功能。电子管使用日久，其阴极发射电子的能力会明显下降，性能将变坏。通过检测电子管阴极的发射能力，可判断被测电子管的老化程度。这里以6J1型五极管为例，介绍具体检测方法：

首先，按照图2（a）所示，给灯丝接上6.3V电源（可用4节5号干电池串联成6V直流电源供电），并且预热大约2分钟。待灯丝烧热后，按照图2（b）所示，将万用表拨至“R×1kΩ”电阻挡，红表笔（为表内电池负极）接阴极（2、7脚）、黑表笔（为表内电池正极）接控制栅极（1脚）。由于控制栅极离阴极最近，控制栅（正电压）会吸引阴极发射出来的电子，从而使万用表能测得并显示出一定的电阻值，其值为数百欧至数千欧（6J1型管实测为2kΩ）。该电阻值越小，说明阴极发射能力越强。如果电子管是二极管（如6Z4型），则用黑表笔接屏极、红表笔接阴极，其结果同上。由此还可判断出该管的阴极和控制栅（对二极管而言是屏极）是好的。若万用表指针读数远大于上述正常值，则说



(a) 加热灯丝　(b) 测栅极　(c) 测帘栅极　(d) 测屏极

图2 判断电子管是否老化

明电子管老化严重。

其次，按照图2（c）所示，把阴极（2、7脚）和接灯丝的电池负极连接起来，再用一只2kΩ电阻接到控制栅和电池正极之间，这就相当于给控制栅加上了一定的正偏压，有助于阴极向更远处的帘栅极和屏极发射电子。再用黑表笔接帘栅极（6脚）、红表笔接阴极，可测得数千欧至数十千欧的电阻值（6J1型管实测为25kΩ），由此可认为帘栅极是正常的。同样的，若测得的电阻值远大于正常值，则说明电子管老化严重。

最后，按照图2（d）所示，将接灯丝的电池正极端通过电线和帘栅极相接，万用表黑表笔接屏极（5脚）、红表笔仍接阴极，以测得数千欧至数十千欧电阻值者可认为正常（6J1型管实测为15kΩ）。同样的，若测得的电阻值远大于正常值，则说明电子管老化严重。

由上可知，整个测试过程是以离阴极最近的栅极开始，逐极测到离阴极最远的屏极而结束。其实，通过测试阴极与栅极（二极管屏极）间的电阻值，就可以判断出被测管的老化程度。接下来的帘栅极、屏极测试步骤可酌情省略。这种方法，不只限于测五极管、二极管，还适用于6N1型三极管、6P1型束射四极管和6A2型七极变频管等各种常用电子管。测试时，还可采用同型号的新电子管进行对比性测试，以更为准确地判断出被测管的老化程度。尽管电子管不可能在上面如此低的测试电压下正常工作，但仍不失为业余条件下一种简便有效的测试手段

电子管使用常识

电子管作为"胆机"和各种电子管设备中的关键性枢纽器件，它的质量与工作状态的好坏，将直接关系到"胆机"的音质质量和设备的工作性能。合理正确地选择和使用电子管很重要，下面就向使用者介绍一些有必要掌握的最基本、最有用的知识和技能。

1

选用电子管时，首先应根据具体应用电路的特点和要求，确定选择合适的产品类型。例如，对于一般放大电路来说，前置级要求有较高的电压增益，应选用高放大系数的电压放大三极管或五极管。三极管的噪声较小，但增益低于五极管，五极管虽然增益高，但失真度大于三极管。因此，放大器的最前级通常是选用五极管，后前级一般采用三极管。又如，在工作信号极小的最前级，如果需要附加信号自动压缩或扩展电路，可采用遥截止式五极管。否则，为了避免波形畸变，尤其是在工作信号较大的后前级，应采用锐截止式五极管。再如，当电子管工作在高频电路时，应选用工作频率符合要求、极间电容较小的高频电子管。

其次，应保证所选电子管的各项参数符合应用电路的要求，尤其是极限参数都要留有足够的余量。比如，用于功率放大级的电子管，应根据输出功率的要求来选择。功率放大管中，三极管的失真度小，内阻亦小，而束射四极管具有功率灵敏度高、需要推动功率小的优点。这就是为什么一般的中、小功率放大级多采用束射四极管的原因。又如，当功率放大级为推挽电路时，应选择两只特性完全相同或非常接近的功率放大管（即"配对管"）。一般说来，三极管的一致性较好，比较容易挑选。而束射四极管由于栅丝间的特殊排列，稍有偏离就会引起特性的偏差，所以尽管型号完全相同，但因静态和动态工作特性的不同，常会出现较大的差异。

2

电子管都是通过专门的管座接入工作电路的。常见管座是用陶瓷或电木等绝缘材料做基座，上面有可插入电子管管脚的插孔与焊接电线的焊接片等。为配合不同电子管，管座也相应设计成各式各样的，但其插孔数与相应电子管的管脚数一般是一样的。不过有的电子管只有4只脚，但设计也适用于8脚管座。图3所示为常见的国产小型电子管管座实物图，小型7脚、9脚管座的中间装有一个接地用的管座隔离心，而8脚管座的中心有定位孔

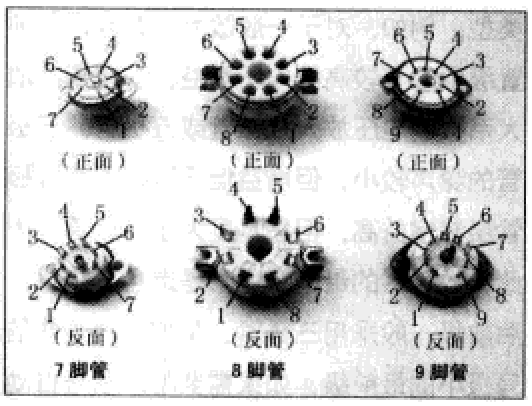


图3 常用电子管管座的识别

（带有小缺口的圆洞），与带有中心“管钥”（即定位插脚）的电子管相吻合，插入电子管时以便保证插对位置。

管座插孔的排列次序与电子管管脚一致，即在管座反面（焊片朝上）按顺时针方向，从插孔（小型GZC-7或GZC-9型管座）的最大一个间隔左边的第一个插孔开始数（1、2、3……），或从中心圆洞（GZ-2C型8脚管座）的小缺口所指左边的第一个插孔开始数（1、2、3……）。如果是从管座正面数，则按逆时针方向，从插孔（小型GZC-7或GZC-9型管座）的最大一个间隔右边的第一个插孔开始数（1、2、3……），或从中心圆洞（GZ-2C型8脚管座）的小缺口所指右边的第一个插孔开始数（1、2、3……）。

选用管座时，注意采用优质的陶瓷制品，劣质的胶木制品与胶纸制品最好不用，因为各种电子管的屏极电压均达数百伏，如果管座的品质欠佳，就容易引起漏电而产生杂声或交流声。同时管座的接插件必须保有良好的弹性，过松、过紧均不理想，特别是小型管座过紧时，容易造成电子管脚弯曲，严重时可能导致管壳开裂或管脚折断。

常用前置放大管多为拇指管或花生管，如6N1、6N2、6N11、12AX7、12AU7、6C1、6J1等，一般应选用GZC型瓷7脚或9脚管座，普通功率放大管一般为瓶形玻璃管（ST管）或筒形玻璃管（GT管），如6P3P、6L6、6CA7、EL34、KT88、6550型等，一般选用GZ-2C型瓷8脚管座，其他功放管如2A3、300B、211、805、807、811、845等，则采用中型瓷4脚与瓷5脚管座。

3

为了延长电子管使用寿命，在实际应用中必须做到“五不要”。

一是灯丝电压不要超出额定值的±10%，最好限制在±5%内。如果不按规定供给灯丝电压，就会明显缩短电子管的寿命。例如，对于灯丝标称电压是6.3V的电子管，实际工作电压最好控制在5.9~6.6V以内，不得低于5.7V或超出6.9V。过低会造成阴极“中毒”，过高则造成阴极过热，均会缩短电子管的使用寿命。

二是任何电子管的运用值都不要超出其最大额定值，而且达到极限值的参数不能多于一个，即使是短时间超出极限值，也将影响使用寿命。例如，屏极损耗功率和帘栅极损耗功率超出其最大允许值时，前者会造成屏极赤热、阴极损伤，从而显著缩短电子管寿命，后者超出时，同样会因过热而缩短电子管寿命。

三是不要忘记和违反电极加电顺序。比如，束射四极管或五极功率电子管在未加屏极电压前，不得先加帘栅极电压，否则帘栅极电流将会很大而使管子过热发红，轻者缩短管子寿命，重者导致管子损坏。又如，提倡设置开机阴极预热，即让阴极通电加热到足够温度后，再先加栅极负电压，后加帘栅极、屏极等高压电源，以防止阴极受损，从而延长使用寿命。

四是不要采用非垂直方式安装发热量较大的功率管及整流管，以免影响散热和寿命。但普通小型电子管的安装位置，可不受此限制，不论垂直、水平还是倒装都可以。值得注意的是，少数直热式电子管，如2A3、5Y3GT、5U4G型等，因灯丝结构关系，也必须垂直安装。

五是不要让电子管受到剧烈震动，不要在过于潮湿和高温的环境下使用。剧烈的震动，会使管内各电极位置变动，引起电气参数的改变，造成管子性能下降，从而影响正常工作，严重时会造成电极相碰，致使管子报废。环境温度升高，管壳过热，会导致电子管芯柱玻璃发生电解，并破坏内部消气剂的工作，造成管子过早损坏。由此可见，在安装功率放大管、整流管时，必须注意采取良好的通风措施，以利散热。

4

注意合理选择电子管外围阻容元器件，以保证管子稳定可靠地工作。例如，功率放大管的控制栅极电路所接的直流电阻器，其电阻值不得超出厂家说明书或电子管特性手册给出的最大值，以免影响栅极发射电子而产生所谓的逆栅电流（也称栅极反电流），造成输出减小、失真增大和工作不稳定的后果。一般功率管在自给偏压时的栅极电阻器取500kΩ或以下，在固定偏压时的栅极电阻器大多取47~100kΩ。又如，整流电子管在采用电容器输入滤波电路时，滤波电容器的电容量越大，屏极峰值电流也越大。当滤波输入电容器的电容量过大（5Y3GT型管大于40μF）时，必须增大屏极电源阻抗值至特性手册所限定数值以上（5Y3GT型管为50Ω），以限制屏极峰值电流不超过其额定值。

5

外界低频电磁波能够穿透电子管的玻璃壳，对内部电极造成干扰。例如，音频放大管在受到干扰时，扬声器会发出交流哼声。为防止低频电磁场的干扰，有些场合采取在管壳外罩上一个专用铝罩的办法，如图4所示。该罩接机壳或公共地

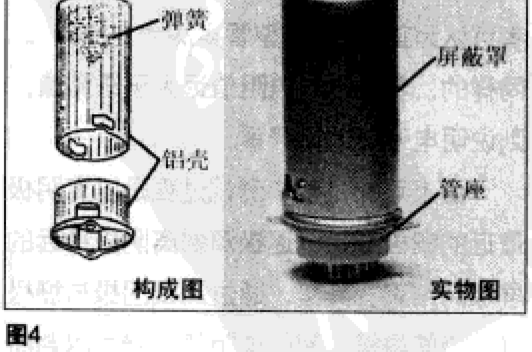


图4

端，被称为电子管屏蔽罩。其作用明显，不仅可避免外界电磁波对管内电极造成的影响，而且还可消除由管子电极发射的电磁波对周围其他元器件所产生的干扰。

6

掌握一些电子管的使用技巧，对于初学者来说是大有裨益的。例如：在应用多个电子管的设备中，为了便于灯丝供电，应选择统一的灯丝电压（如都为6.3V或都为12.6V）。并且灯丝的供电如果采用交流，对电子管寿命没有影响，但是容易存在引起噪声的缺点，如果采用直流，则具有噪声小的优点，但是存在对电子管寿命有影响的缺点。针对交流与直流供电存在的优、缺点，电路的后级管推荐采用交流供电，前级管推荐采用直流供电。另外，使用五极管时，如果稍降低些灯丝供给电压（如从6.3V降至5.8V左右），不仅可以延长管子使用寿命，而且能减少噪声，这对要求高增益、低噪声的前置放大电路非常有益。

又如，将完全相同的两部分封装在同一管壳内的电子管，称为“孪生管”，它实际上是复合管的一种特殊类型，常见的有双二极管和双三极管。当需要两管具有对称性的工作条件时，使用“孪生管”比使用两只独立的电子管更为有利。包括“孪生管”在内的复合管，内部多设置有静电隔离板（如6N1、6N2双三极管），实际运用中应将其连接到该隔离板的管脚接机壳或公共地线。再如，工作在高频状态下的电子管，其屏极与栅极间的固有电容（也叫跨路电容），会造成工作不稳定，甚至产生自激振荡。并且管子的跨导越高，这种现象越严重。为此，除合理排列和布线外，必要时可给电子管加以适当的屏蔽，或在电子管管座的屏极与栅极焊片中间，竖一个连接电路公共地线的屏蔽板。

7

在实际制作或维修中，经常会遇到电子管相互代替的问题。对于不同型号电子管的代用，应注意选择同类用途、具有相同特性或特性相近的电子管进行替代。例如，老式遥截止中频电压放大管6SK7、功率放大管6V6，可分别用新式小型管6K4和6P1替代。由于这两种替代电子管的管形不同，所以需要更换管座，并改变管脚连线，但其他可不作更动。又如，功率管6P1与6P14特性相近，仅管脚连线不同，因而只要改变管脚连线，就可以互换。

对于工作特性有较大差别的电子管，一般不宜相互代替。如6N1与6N2，虽然管形、电极引出线和用途类别都相同（均属电压放大管），但6N2的放大系数比6N1大得多，互相代替会使电路的增益过高或不足。如一定要代替，必须对电路做适当调整才行。

五极管的增益比三极管大得多，当不需要太高的增益时，可将五极管连接成三极管使用。具体方法是，将帘栅极和屏极连接在一起，也可将抑制栅极（指有单独引出线时）和屏极连在一起，帘栅极与控制栅极连在一起，或将帘栅极、抑制栅极都和屏极连在一起。例如，五极管6J1改接成三极管后，其特性与双三极管6N1的一个三极部分相类似。但是，改接方法不同时，改接后的三极管特性也略有差别。由此可见，必要时五极管也可以替换三极管。同理，五极管和三极管也可以连接成二极管使用。如电子管收音机中，通常将6N2中的一个三极部分连接成二极管来担任检波工作。

综上所述，虽然电子管的类型不同，但只要掌握了它们的工作原理，就可运用自如，在实践中开辟出广阔的运用空间。

8

电子爱好者在接触各种收藏级电子管收音机时，不仅可以见到国产电子管，而且还可见到那个时代前苏联、美国等国家生产的电子管。虽然有的电子管在外形上各有所异，但许多同一类型管子的参量数值完全相同或比较接近，在维修中是可以互相代用的。附表列举出若干国产电子管与其他国家电子管产品互换使用的对照表，以方便读者参考。

附表　常见电子管互换表

国产式	(前)苏联式	美国式	欧洲大陆式
1A2	1А2П	1R5-1AB6	DK96
1K2	1К2П	1T4-1AJ4	DF96
1B2	1Б2П	1S5-1AH5	DAF96
2P2	2П2П	3S4-3C4	DL96
6U1	6И1П	6AJ8※	ECH81
6A2	6А2П	6BE6	EK90
6K4	6К4П	6BA6	EF93
6G2	6Г2П	6HV6	EBC91
6H2	6Х2П	6AL5	EAA91
6P1	6П1П	6HQ5※	EL90
6P14	6П14П	6BQ5※	EL84
6E1	6Е1П	6BR8※	EM80
6Z4	6Ц4П	6X4※	EZ90
6N1	6Н1П	12HU7※	ECC82
6N2	6Н2П	12AX7※	ECC83
6N3	6Н3П	6AQ8※	ECC85
6P15	6П15П	12BY7A※	EL180

说明：标有“※”号者，表示管脚接法不同。

9

从电子管座上拔出电子管时，必须注意先做到关闭设备电源，待管子的玻璃壳温度降下来以后，再用手去拔出，以免被烫伤。不论插入或拔出电子管，用力方向均应与管座平面垂直，谨防损坏管脚及管壳。对于无管腰的小型花生管，它的管脚只是一根较粗的引线，强度不是很大，插入管座时，一定要对准各管脚位置，且垂直插入，否则很容易把管脚弄弯，拔出管子时，更要当心管顶的抽气“小辫”，不要碰撞到机壳，而且用力不可过猛、过大，稍许摇晃着往上拔即可。在拔取有管腰的管子时，需要特别注意的是，一定要用手指捏住管腰，稍微摇晃着拔取，切忌只捏着玻璃壳拔管，这样极易将管壳和管腰拔脱。万一不慎发生了这样的事故，可用普通胶水与石膏粉拌合成较稀的糊状物，灌进脱开的缝隙里，把管子放在阴凉通风处，待自然干燥后便可粘结实了。

能识别方向的迎宾器

◇俞虹

这里介绍一款用热释电传感器制作的迎宾器，它能识别来人的进出。把它安装在商店或家里的门厅，当有客人进门时会发出“您好，欢迎光临”的礼貌用语；客人出门时，又能控制其不发出声音。避免了以往迎宾器不管客人是进门还是出门都发出“您好，欢迎光临”的情况。这款迎宾器工作距离为1~1.5m，静态耗电约为1.5mA。

工作原理

图1是它的工作原理图。它由两组放大电路、比较电路、B信号延时电路、AB信号判别电路和语言发生电路组成，笔者将重点说明一下方向识别的原理和AB信号判别电路。

1. 方向识别原理

该迎宾器电路板头部反方向安装了两个热释电传感器A和B，如图2所示。当有人从传感器前方由B到A经过时（进入），传感器A产生正半周的信号，而B产生负半周的信号。只有正半周信号达到一定幅度才能触发语音发生电路，此时，传感器A的信号起作用，触发后面的电路，控制其发出“您好，欢迎光临”的礼貌用语。而当有人从A到B通过时（出去），情况则和上述相反。传感器A产生负半周信号，B产生正半周信号。这时传感器B信号起作用，触发后面的电路，控制其不发出声音。

2. B信号延时和AB信号判别电路

IC4是四2输入或非门。这个电路由IC4-3和IC4-4等元件组成B信号延时电路。当IC3-2输出低电平时，也就是IC3-3的一个输入端为低电平，IC4-4输入端为高电平（电源通过R20加到IC4-4输入端形成的），IC4-4输出为低电平，低电平还会使IC4-3输出高电平。当IC3-2输出正脉冲信号时（通过B信号形成的），IC4-3输出低电平，IC4-4输入端为低电平（电容两端电压不能突变），IC4-4输出高电平，而这个高电平持续时间由电容C13和R20决定。

由IC4-1和IC4-2组成了AB信号判别电路。当IC3-1输出高电平（A传感器输出信号产生的）时，由于IC4-1输入端并接，输出为低电平。此时，IC3-2输出为低电平，因此，IC4-2另一输入端也为低电平，IC4-2输出为高电平，从而触发后级语音发生电路。当IC3-2输出为高电平，而IC3-1输出为低电平时，IC4-4输出高电平，而IC4-1输出也为高电平，从而使IC4-2的两个输入端都为高电平，IC4-2输出低电平，不触发语音发生电路。在IC4-4输出为高电平期间，IC3-1输出的高低电平都不能触发语音电路，即起到了封锁的作用。

其中，二极管VD和电容C14构成前后级隔离电路，目的是在语音发生电路发音时，减小其对前级放大电路的影响。

制作和调试

用5cm×10cm敷铜板按原理图制作一块电路板。头部用于安装两只热释电传感器，相距1cm，反向安装，即外壳的凸点都向外。安装好的电路板如图4所示。图5是电路板的背面，语音集成块直接安装在这一面上。

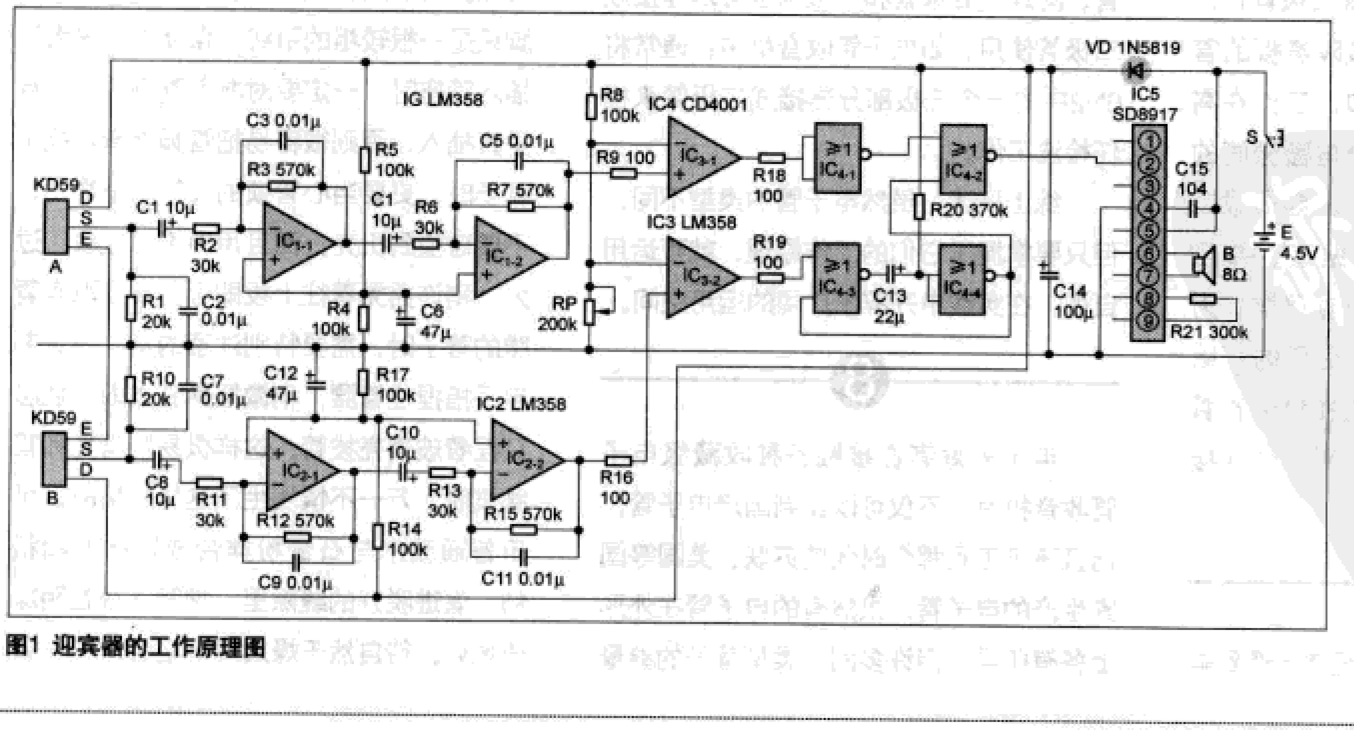


图1 迎宾器的工作原理图

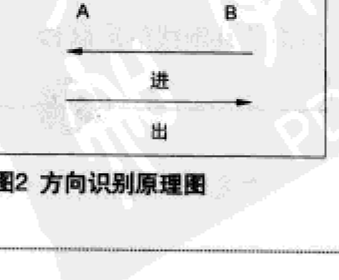


图2 方向识别原理图

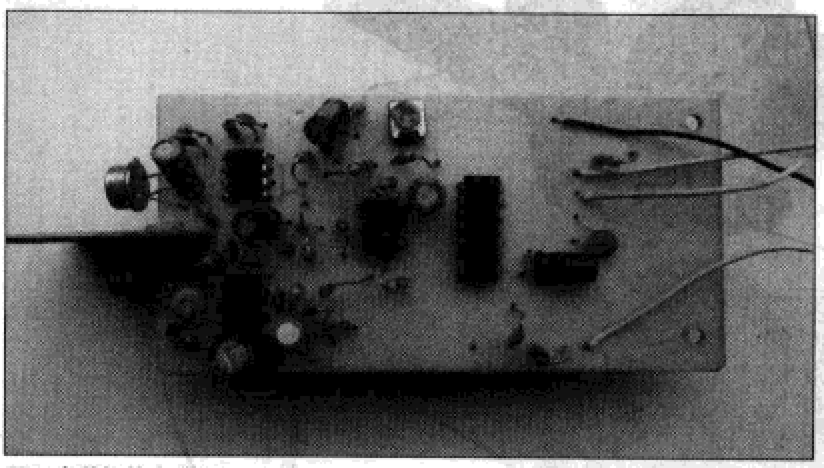


图4 安装好的电路板

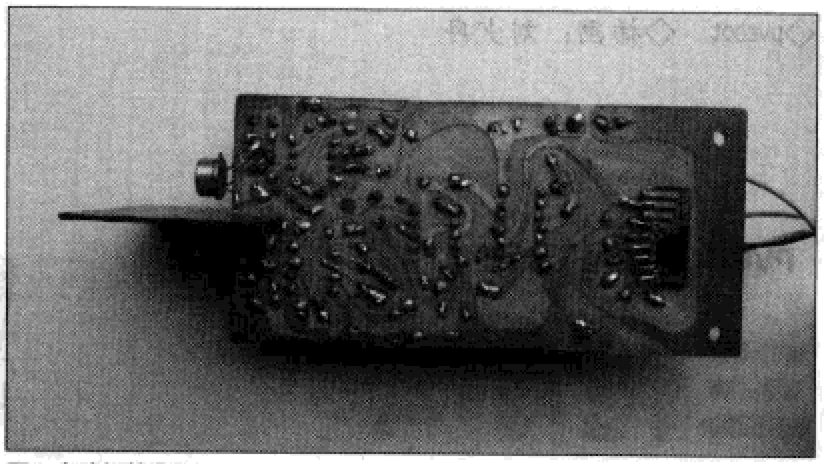


图5 电路板的背面

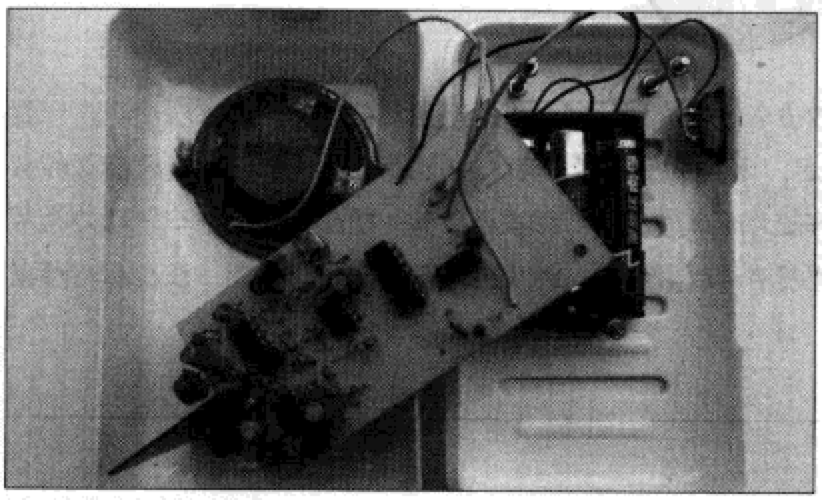


图6 迎宾器的内部结构图

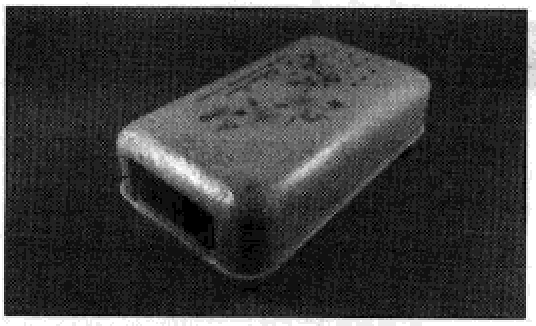


图7 迎宾器的外观图

制作元件表

数量	元件名称	元件标号	元件值
2	热释电传感器	A, B	KD59或其他
3	2运算放大器	IC1, IC2, IC3	LM358
1	四2输入或非门	IC4	CD4001
1	语音电路	IC5	SD8917
1	开关	S	2×2拔动开关
1	5号电池盒	E	4.5V
1	扬声器	Y	8Ω
1	二极管	VD	1N5819
5	电解电容	C1, C4, C8, C10	10μF
6	瓷片电容	C2, C3, C5, C7, C9, C11	0.01μF
2	电解电容	C6, C12	47μF
1	电解电容	C13	22μF
1	电解电容	C14	100μF
1	瓷片电容	C15	0.1μF
4	色环电阻	R3, R7, R12, R15	570kΩ
4	色环电阻	R2, R6, R11, R13	30kΩ
5	色环电阻	R4, R5, R8, R14, R17	100kΩ
2	色环电阻	R1, R10	20kΩ
4	色环电阻	R9, R16, R18, R19	100Ω
1	色环电阻	R21	300kΩ
1	色环电阻	R20	370kΩ
1	微调电阻	RP	200kΩ
1	塑料外壳	8cm×5cm×14cm(宽×高×长)	
1	塑料膜	6cm×4cm	

在制作好的电路板前面还要安装一块挡板（4cm×3.5cm），可以用小电路板代替。具体做法是用钢锯锯开一个槽，嵌入电路板约1cm，并且用AB胶固定。加挡板的目的是为了隔离热释电传感器A、B，使传感器获得的红外线符合要求。找一只尺寸为8cm×5cm×14cm的外壳（可以用肥皂盒代替），把开关装在外壳的一侧，电路板用3只螺丝固定在外壳内，电池盒放在底部，把扬声器固定在外壳的上方（需要在外壳上方打一些φ3mm的小孔）。外壳前方开一个5cm×2.5cm的方形窗，让人体红外线能被热释电传感器接收。完成后，检查元件焊接和导线连线无误，即可调试。

把制作好的迎宾器放在桌面上，前方不要有物体。人在距迎宾器1m的距离模拟进出，使迎宾器能正常工作，即在距其1m的地方进入时，能发出“您好，欢迎光临”的声音，反向回来时，没有声音，并且距离超过1m时不会发出声音。如距离有出入，可以调微调电阻RP。如果还不尽人意，可以调整电阻R7或R15的阻值来改变放大器的放大倍数。例如发音正常，而“静音”不正常，可以适当调大R15 的值，如可把R15换成1MΩ试试。

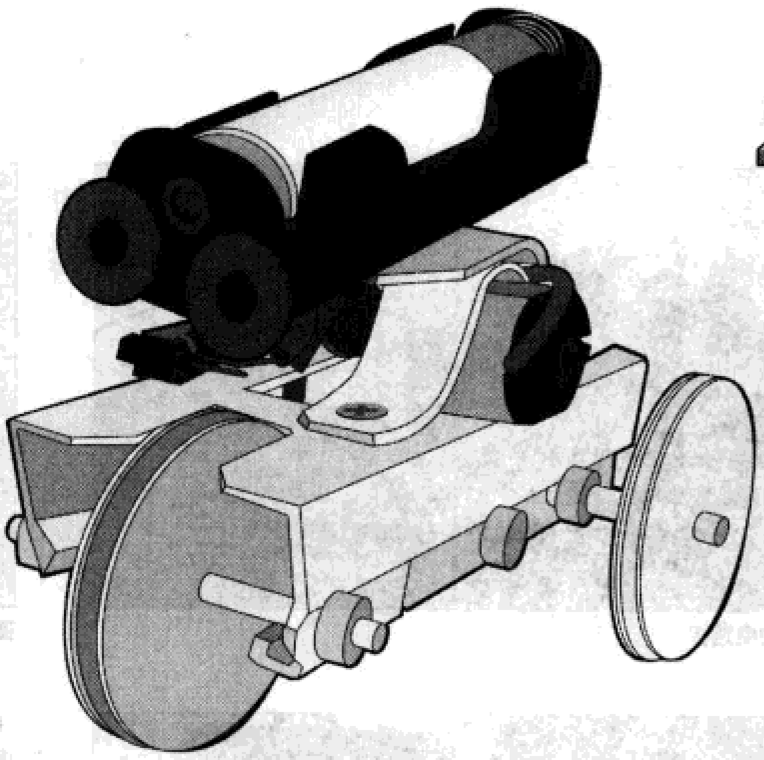
接着调封锁时间，可以调R20的值。用万用表接IC4-4的输出端，人在迎宾器前经过时，输出端高电平时间一般要在3~5s。视具体情况而定，以人经过时不再次触发为界。一般商店使用时间可调短一些，家里使用时间可调长一些。至此调试工作就完成了。

该迎宾器静态耗电小，白天打开开关，晚上关闭开关即可。使用时应放在距门前一侧靠里30cm左右的地方，不要距门太近，否则不易触发。迎宾器内部结构如图6所示，供制作时参考。外观如图7所示。

◇pvcbot ◇插画：刘少冉

PVCBOT 29号·疾行者

三轮小车



上一个依靠“吹风”来驱动的螺旋桨小车属于非常规的小车，这里我们将介绍直接驱动轮子行驶的常规小车。一般来说，作为动力来源的引擎由于输出的转速过高且扭矩不足，无法直接驱动车轮，中间必须要经过一个减速传动的机构，把转速降下来，把扭矩提上去。本项目引入了实现起来较为简单的皮带传动减速机构，相比螺旋桨小车，动力利用更充分，跑起来更快，所以我们把它叫作“疾行者”。在视频中可以看到它的速度确实很快，前轮抬起、仅靠后轮行驶时的“优雅”舞姿算是一个surprise吧！

视频：http://v.youku.com/v_show/id_XNDUxMjE4ODY0.html

基本原理

本项目是一个传统的三轮驱动小车，由普通电池提供电能，驱动作为动力引擎的直流电机高速转动，电机转动的动力再通过由皮带、滑轮组构成的传动系统以“降低转速、提高扭矩”的方式传输到车轮上，驱动车轮转动，最终带动小车前进。

1. 运动方式

本项目的重点在于传动系统，同时为保持一定的项目延续性，在整体架构上还是继续采用与PVCBOT 28号螺旋桨小车类似的三轮小车结构。两个后轮直接获得动力，称为主动轮，而前面的一个车轮本身没有动力，在与地面摩擦时被带动，仅起到支撑与平衡的从属作用，称为从动轮。当然，传统三轮车的前轮还可以改变角度，具有转向的功能，所以也可以称为转向轮或导向轮，不过在本项目中为了简单起见，前轮是固定且与车身平行的，使得小车只能走直线。

2. 驱动机理

直流电机的转速一般达到每分钟几千甚至上万转，如果是驱动螺旋桨要产生足够的风力，确实需要那么高的转速，但如果是驱动车轮的话，这个转速就实在是太高了，毕竟以小车的实际行驶速度而言，把车轮的转速控制在每分钟几十到一百转左右就足够了。把动力由“高转速、低扭矩”的状态转变为“低转速、高扭矩”的状态，常用的方法就是使用减速传动机构。

举个汽车的例子：汽车在爬坡的时候，需要用低挡位，让发动机变速箱的减速比大一些，车速降下来，才能有足够的力量爬上坡。汽车在高速行驶时，需要换成高挡位，让发动机变速箱的减速比小一些，发动机到车轮之间传动的转速不要降得太多，这样虽然相对来说力量没有那么大了，但是高速行驶时汽车速度已经起来了，利用惯性，不需要太大的力量也能推动汽车继续前进。

传动机构按照机械结构来划分，可以分为皮带传动机构、链条传动机构、齿轮传动机构等。皮带传动机构以柔软

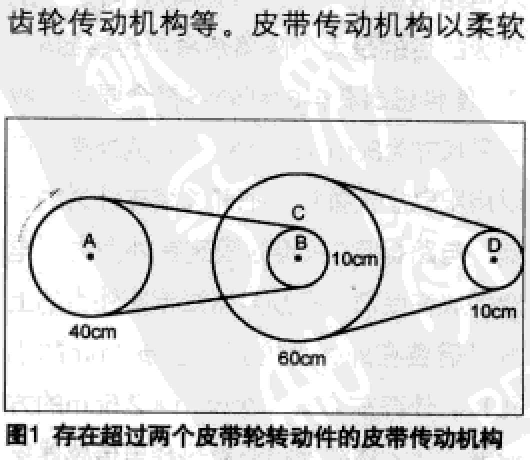


图1 存在超过两个皮带轮转动件的皮带传动机构

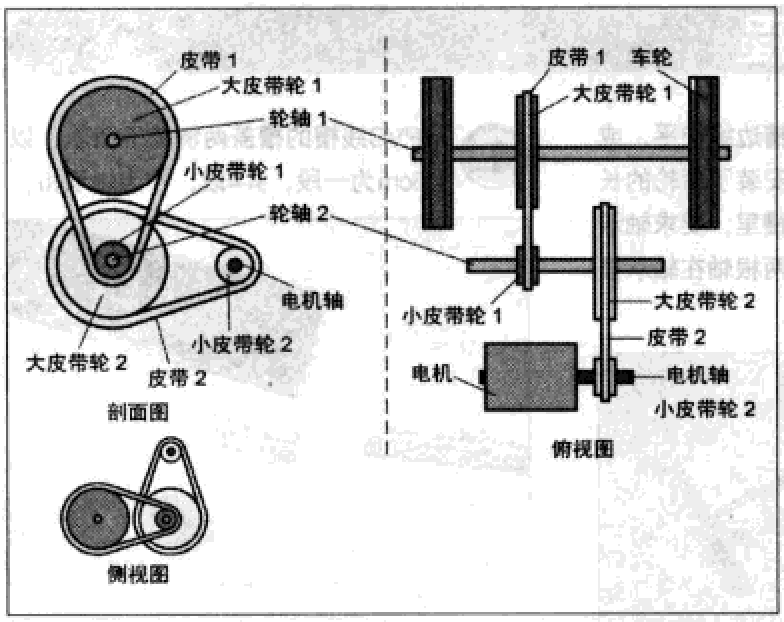


图2 PVCBOT 28号皮带减速传动机构

的皮带作为力的传输元件在转动件（皮带轮）之间进行力的传输，比如用在拖拉机的发动机上。由于皮带是柔软且带有弹性的，因而皮带轮之间的位置不用那么严格，也就是皮带轮的安装精度要求不是太高（皮带轮的中心位置可以有一定的误差），整体组装也相对容易。

不过，由于皮带与皮带轮之间的运动传递主要是依靠摩擦力，所以皮带传动只适合于功率较小（速度不快且力量不大）的情况，否则容易产生打滑现象。另外，由于皮带和皮带轮的加工工艺比较简单，所以皮带传动机构的成本比较低。

相邻两个皮带轮的转速n（或角速度）跟两者的半径r（或直径d）成反比。也就是说，半径越大的皮带轮转速越小，半径越小的皮带轮转速越大。如果存在超过两个皮带轮转动件，则总体传动全程起始到最终的转速比等于各组（相邻两个为一组）转速比的乘积，比如图1所示的皮带传动机构，从A到B，B与C同轴，再到D，最终的转速比：

$$i=\frac{n_D}{n_A}=\frac{r_A}{r_B}\times\frac{r_C}{r_D}=\frac{40}{10}\times\frac{60}{10}=\frac{24}{1}$$

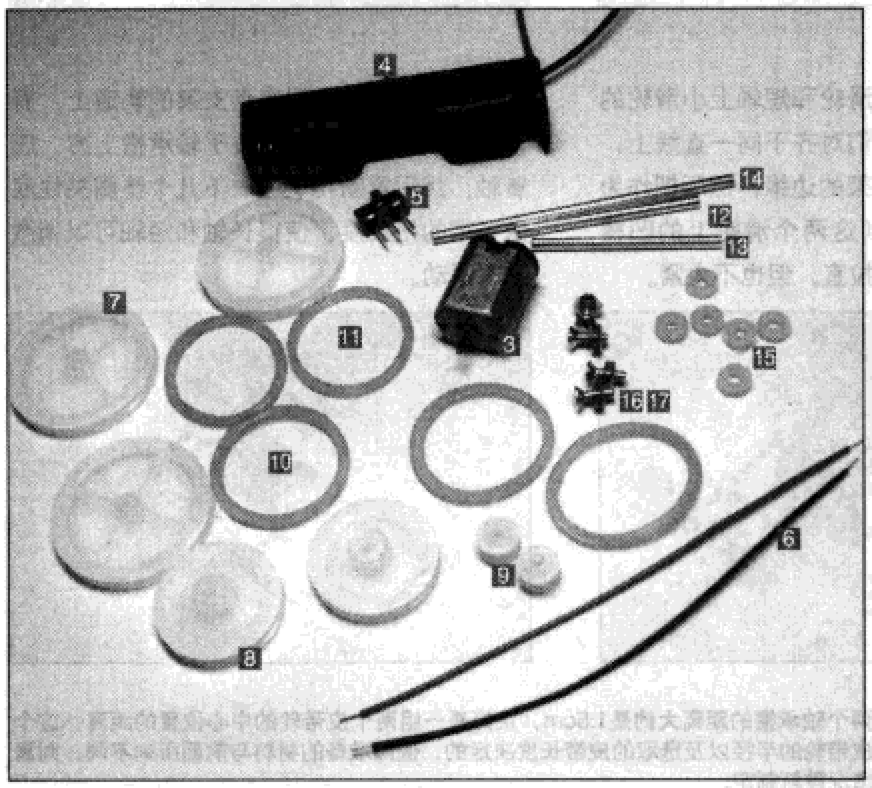
即从A到D为24倍的增速效果，反之，从D到A则为1/24的减速效果。

为了提高减速比，我们用了两个皮带轮组，每组由大小两个皮带轮以及连接它们的皮带组成，如图2所示，其中，组1的大皮带轮1作为整个传动机构的输出端连接着车轮（轮轴1），组2的小皮带轮2作为整个传动机构的输入端连接着电机轴，组1的小皮带轮1与组2的大皮带轮2通过同一根轮轴（轮轴2）连接在一起。为了节省空间，电机不是安装在与皮带轮同一水平面上，而是高于皮带轮所在的平面。

3. 电路原理

本项目还是采用最简单的控制电路，就是电池直接连接电机，中间通过拨动开关来控制电路的通断。

准备工作

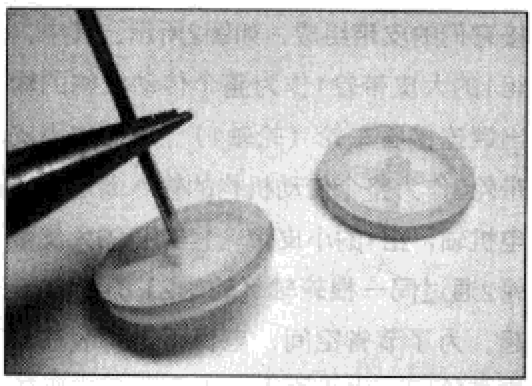


制作所需的材料

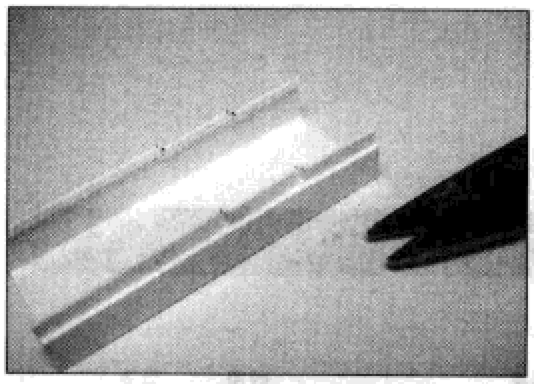
名称	规格	数量	用途
1 PVC线槽	宽2.5cm，长15cm	1个单位	主体材料
2 干电池/充电电池	7号（AAA）	1节	电源
3 小电机	微型1.5V电机，轴径1mm	1个	动力
4 电池盒	单节7号电池盒	1个	电源
5 拨动开关		1个	电源开关
6 电路导线	长10cm（红、黑）	2根	电路连接
7 大滑轮	直径24mm	3个	车轮
8 中滑轮	直径18mm	2个	减速皮带轮
9 小滑轮	直径6mm	2个	减速皮带轮
10 橡皮圈	周长15mm	3条	车轮轮胎
11 橡皮圈	周长15mm	2条	减速皮带
12 短轴	长3cm，直径2mm	1个	皮带轮轴
13 短轴	长3cm，直径2mm	1个	前轮车轴
14 长轴	长5cm，直径2mm	1个	后轮车轴
15 塑料垫圈	直径2mm	6个	车轴固定垫圈
16 M2×6螺丝/螺母	直径2mm，长6mm	2对	固定电机
17 M2×6螺丝/螺母	直径2mm，长6mm	2对	固定电池盒

制作过程

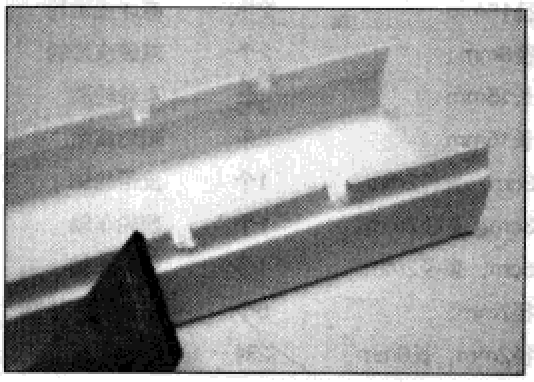
1 把橡皮圈套到滑轮的凹槽上，做成后轮。用尖嘴钳把长轴压入后轮的轴孔中，把后轮平放于桌面上，让长轴抵到桌面即可。



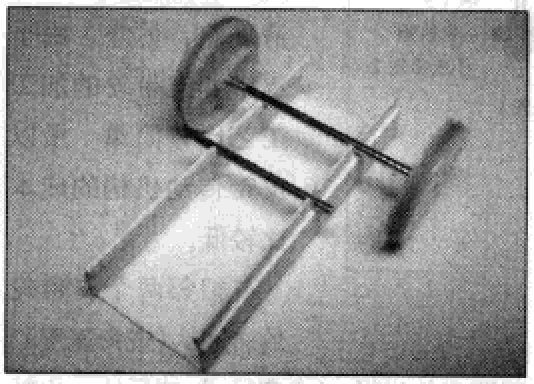
2 用PVC线槽的凹槽部分，剪出长约6cm的一段，作为小车的底盘。在距离凹槽一端分别为1.5cm、3cm的位置，用笔做好两个标记，对侧也同样处理。然后用剪刀对照4个标记各剪一个缺口，缺口深度稍微高于凹槽上的轨道底部。



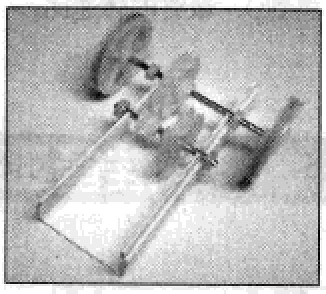
3 以第一次剪开的位置为中心，在两侧大约1mm左右的位置再各剪开一个缺口，然后用美工刀抠掉被剪开的部分。最终在每个标记的位置都开一个宽度和深度大约为2mm的方形小口子，分别作为后轮长轴和中间变速短轴的轴承槽。



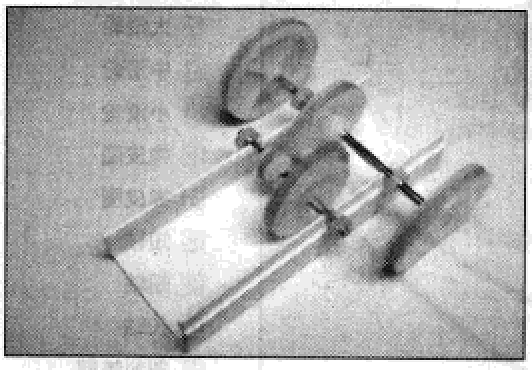
4 用美工刀把几个轴承槽边缘切平，或用小锉刀磨平整。把安装了后轮的长轴和短轴分别搭在两组轴承槽里。要求轴承槽的顶部刚好高于轴，而且两根轴在轴承槽里不会卡得太紧，可以转动。



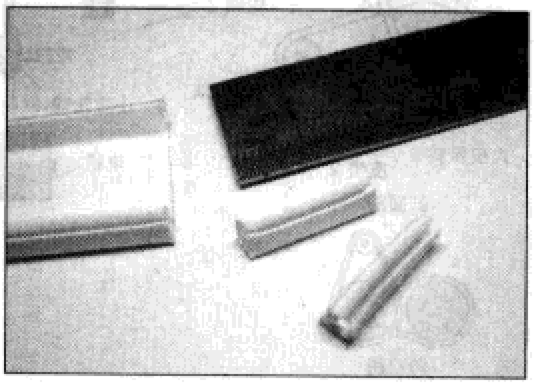
5 把长轴一侧的后轮拆出，套入两个塑料垫圈（橙色）和一个中滑轮后，再把后轮装上。把两个垫圈、一个小滑轮和一个中滑轮套到短轴上。重新把长轴和短轴搭在底盘支架的轴承槽里。调整垫圈的位置，使得垫圈正好扣住两边轴承槽的外侧，且让长轴处于底盘支架的中间位置（即两个后轮到支架两侧边缘的距离是一样的）。



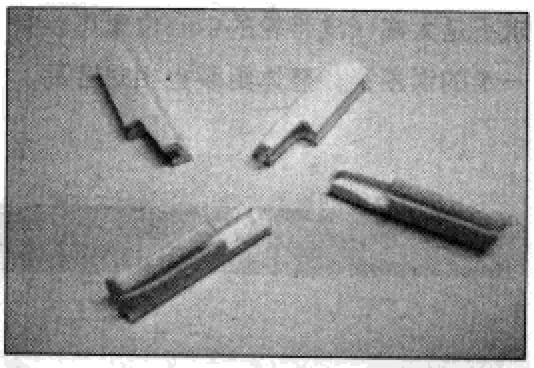
6 调整长轴上中滑轮和短轴上小滑轮的位置，使得它们对齐于同一直线上，并且尽量靠近底盘支架的边缘，然后把作为皮带的小橡皮圈套到这两个滑轮上的凹槽里，橡皮圈应是刚好拉直，但也不太紧。



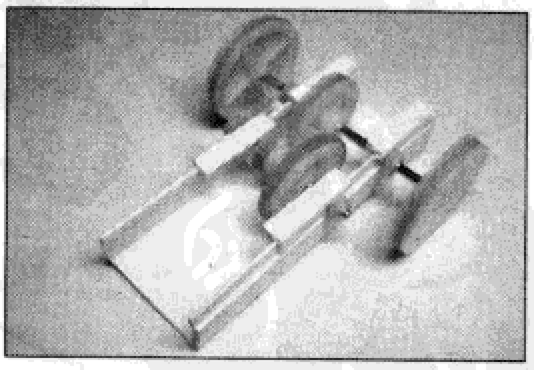
7 从PVC线槽的槽盖两侧剪下滑轨，以1.5cm为一段，共4段，作为轴承扣。



8 取一段滑轨，在距离一侧边缘0.5cm左右的位置，垂直用美工刀切一个口子。注意切到大约一半左右的深度即可，千万不要切到底。然后再离垂直口子近一点的一侧，在中间偏下的位置，再用美工刀横向切入，把垂直和横向的两个口子连在一起，切掉一部分，这样就完成了如图所示的轴承扣。4段滑轨都要如此处理。

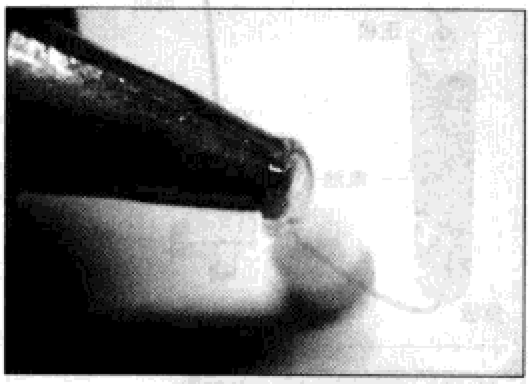


9 把轴承扣套到底盘支架的轨道上，有缺口的位置正好位于轴承槽上方，压着轴，然后重新再调整一下几个垫圈夹住底盘支架的松紧度，使得长轴和短轴可以稍微左右活动。

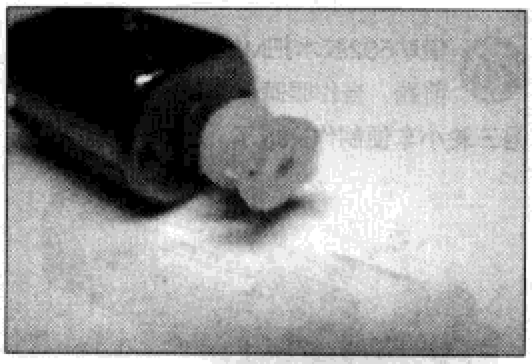


Tips 每一侧的两个轴承槽的距离大约是1.5cm，正好是一组两个皮带轮的中心位置的距离，这个距离是由皮带轮的半径以及选取的皮带长度决定的，假如准备的材料与前面所列不同，则需根据实际情况重新制定。

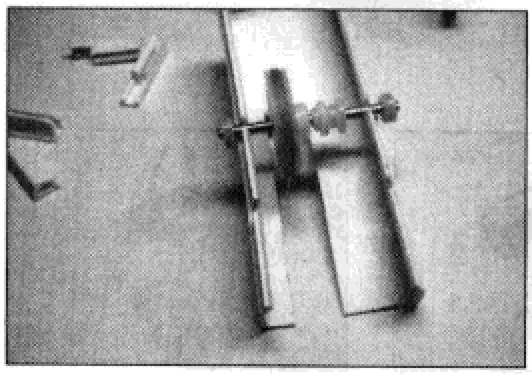
10 准备把小滑轮安装到电机的轴上。这里选择的小滑轮的轴孔直径是2mm，而电机轴的直径是1mm，要把小滑轮套到电机轴上并且固定好，需要借助热熔胶。把热熔胶枪加热好，把胶滴到小滑轮的轴孔上。由于小滑轮的轴孔比较小，需要在温度比较高、胶的流动性比较好的时候，反复涂到小滑轮上，才能让胶流入轴孔中。



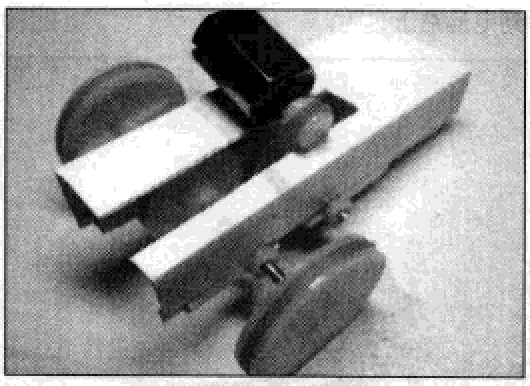
11 趁着热熔胶还没有冷却固化，把电机轴插到轴孔中，尽可能让电机轴位于轴孔中心。这种方式虽然很难让电机轴与小滑轮精确处于同一中心轴线上，但是由于皮带减速传动机构对于安装精度的要求相对宽松（前面已有说明），当前方法也是可行的。小滑轮可以套入电机轴深一些，从轴孔另一侧也可以适当用热熔胶再填入。



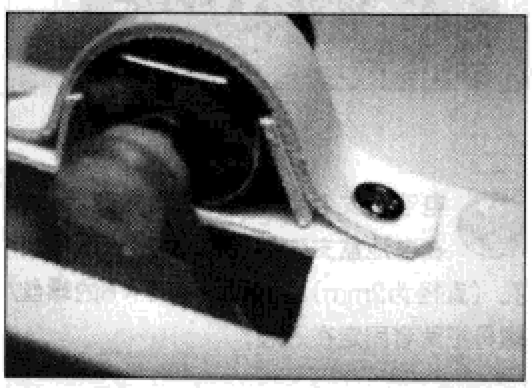
12 把长轴从底盘支架上卸下，对着短轴上中滑轮的位置，在底盘支架底部从长轴所在位置一侧用剪刀剪开一个槽，宽度要稍微比中滑轮的厚度大一些，使得短轴左右活动时，中滑轮不至于碰到槽的两边。



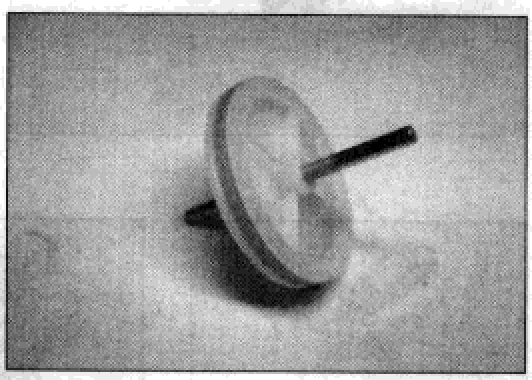
13 把长轴装回去，然后把电机放到底盘支架上，并把短轴上中滑轮套着的橡皮圈从底盘支架上的槽中引出，套到电机轴的小滑轮上。调整电机位置，使得电机位于短轴的正上方。



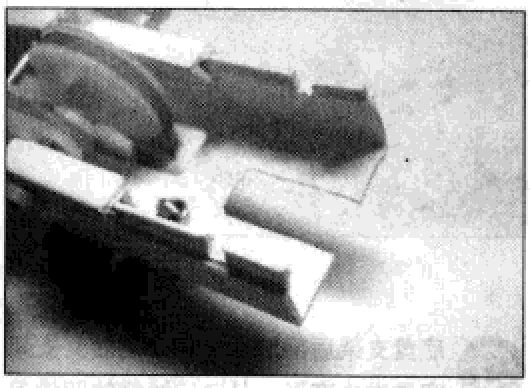
14 剪一块长5cm、宽1cm左右的PVC方条，把它按压在电机上，沿着电机外壳成一定程度的弯曲，做成固定电机用的箍条。在箍条两端用锥子各打一个直径2mm左右的小孔，透过小孔，在底盘支架上用笔做好标记，然后同样打直径2mm的孔，用M2×6的螺丝/螺母固定起来。调整好电机在箍条下伸缩的深度，使得电机上的小滑轮与短轴上的中滑轮处于同一个垂直面，即两个滑轮之间的皮带正好是垂直地面的。



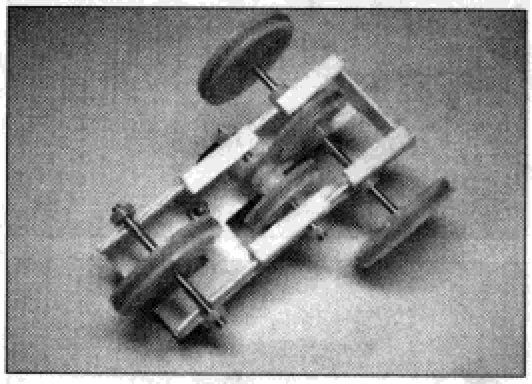
15 把橡皮圈套到大皮带轮的凹槽上，做成前轮。然后把短轴压入前轮的轴孔中，让前轮位于短轴中央。



16 在底盘支架没有长轴的一端，轨道上离边缘大约0.5cm的位置，两侧各开一个方形的口子，作为前轮短轴的轴承槽。在底盘支架底部前端的中心位置，剪开一个凹槽，使前轮可以嵌入底盘支架内侧。



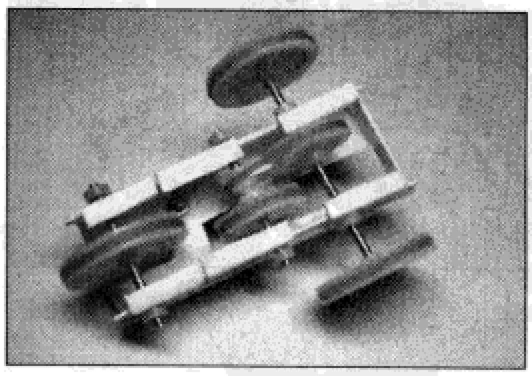
17 把装上了前轮的短轴搭在前轮轴承槽上，再调整底盘支架上剪出的凹槽的深度与宽度，使前轮不会碰到支架。然后把垫圈套到前轮短轴上。



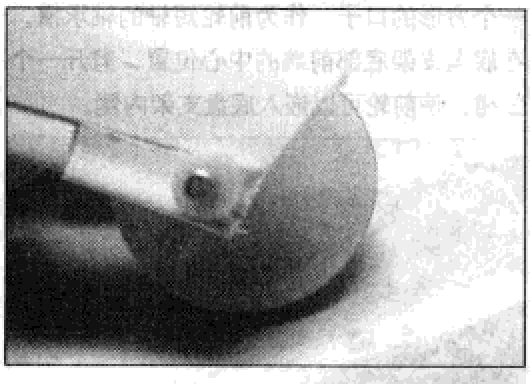
Tips

假如电机夹得不够紧，可以将剪好的小PVC片插到箍条与电机之间的缝隙里。假如箍条位置不利于拧螺丝固定，可以直接用502胶水粘贴。

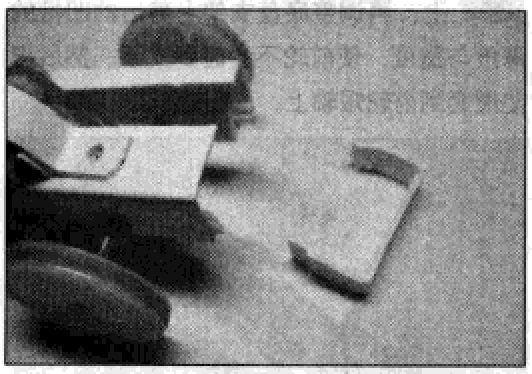
18 参照前面的步骤，再制作两个轴承扣，把前轮短轴也用轴承扣卡住。调整轴承扣的长度或者位置，使前轮短轴的轴承扣与中间变速短轴的轴承扣抵在一起（不容易移位）。

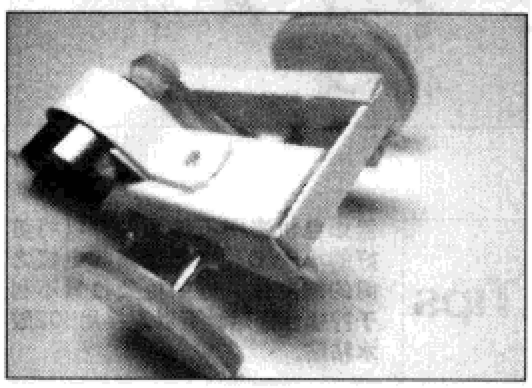


19 沿着前端轴承扣的位置，把底盘支架两侧的边缘切平。

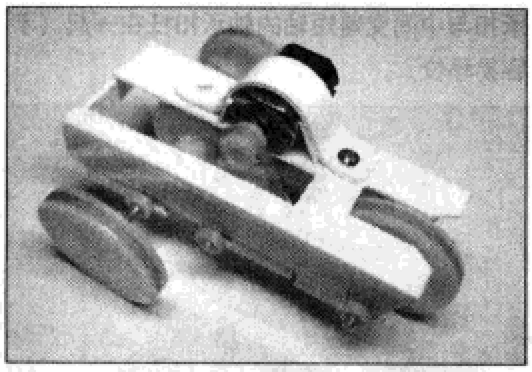


20 底盘支架后部剪开一个槽之后，支架容易发生变形，从PVC线槽的凹槽剪出长约0.5cm的一段，做成支撑架，插入底盘后部，并用502胶水固定好。

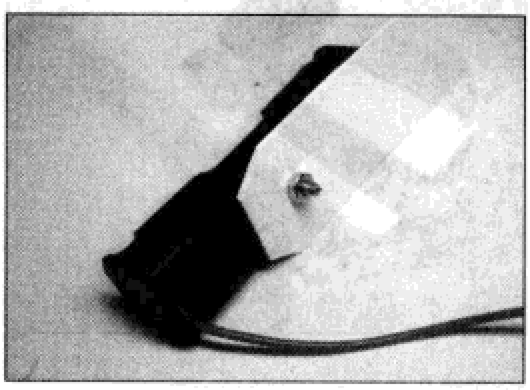




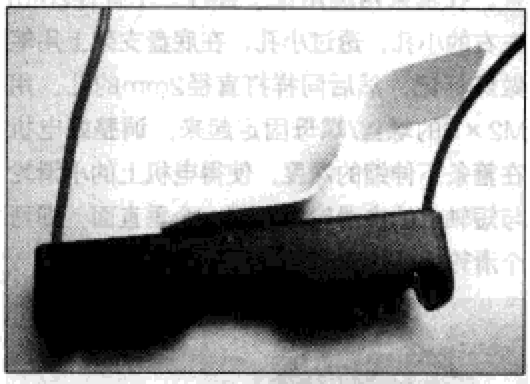
21 为了美观，把底盘支架的前轮凹槽的内侧边剪成斜口，车体结构便基本完成了。



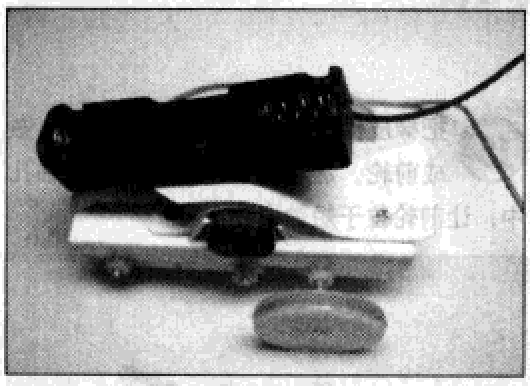
22 剪一块长5.5cm、宽2cm左右的PVC方块，在纵向中心线上距离一侧边缘大约1cm的位置，打一个直径2mm的小孔。把方块打有小孔的一侧的角剪成斜口，作为电池盒的支架，用M2×6的螺丝/螺母安装到电池盒上。



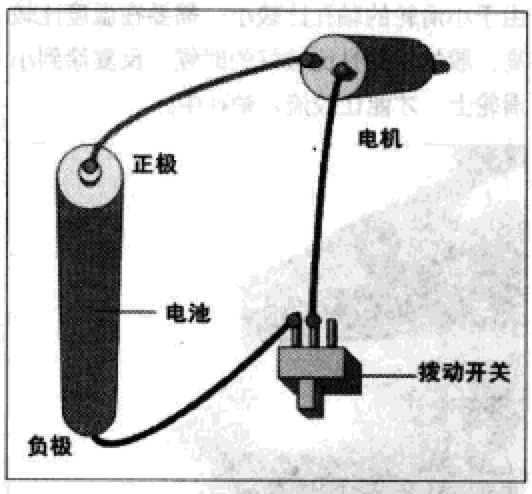
23 用尖嘴钳把电池盒支架弯成如图所示的结构。



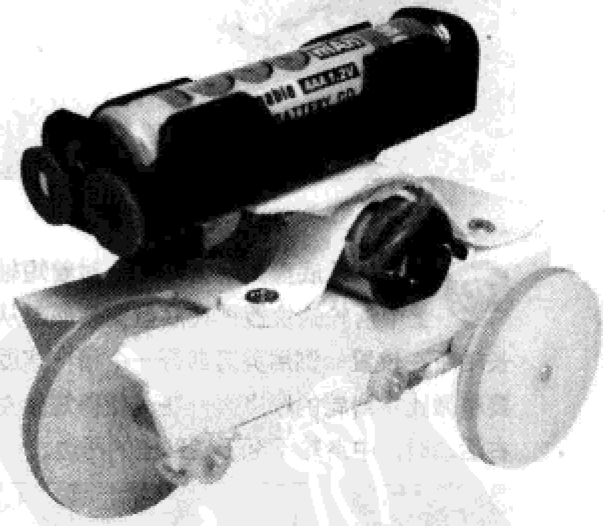
24 电池盒支架底端搭在底盘支架后部，在电池盒支架与底盘上打上对应的小孔（直径为2mm），然后用M2×6的螺丝/螺母把两者固定在一起。

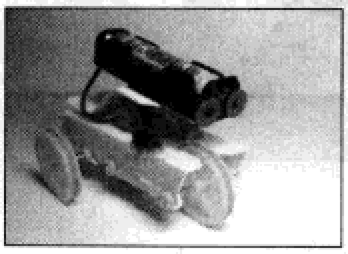


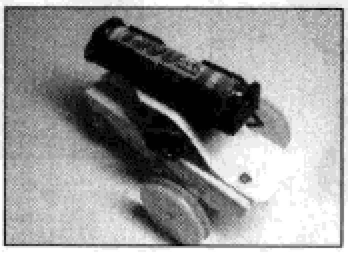
25 参照电路焊接示意图，把电路焊接好。如果导线过长，应剪短后再焊接，外露的导线可收纳到电池盒支架下面。最后使用热熔胶枪把拨动开关粘贴固定在底盘支架上。

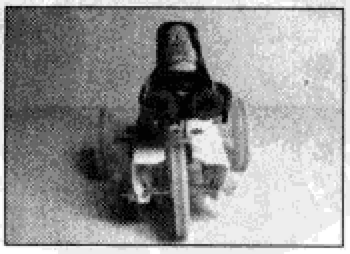


26 借助502胶水把M3垫片粘贴到电池盒前端，当作眼睛。至此，PVCBOT 29号三轮小车便制作完成了。









认识DSP收音机

◇刘作新

近几年，一些收音机厂家陆续推出了DSP收音机，电子爱好者最关心的是：什么是DSP收音机？能否自己制作DSP收音机？带着这些问题，笔者特意撰写了此文，想通过此文帮助大家了解DSP收音机，希望对大家有所帮助。

什么是DSP收音机

在介绍DSP收音机之前，我们先来看一下传统超外差式收音机的组成方框图，见图1。在方框图中各部分单元电路均是模拟电路，从天线接收到广播信号到最终还原出音频信号，都由模拟电路来处理，整个过程中信号的“性质”没有改变，“从头到尾”都是模拟信号。

如果将传统超外差式收音机由模拟电路转变为对接收到的模拟广播信号进行数字化转换并进行数字化处理，即采用数字信号处理(DSP)技术，那么采用这种模式的收音机就是DSP收音机了。将DSP收音机所需要的功能电路集成到一个芯片中，这种芯片就称为DSP收音机芯片。

图2所示是DSP收音机接收芯片的内部组成方框图。在图中，高频低噪声放大器（LNA）、混频器（MIXER）为模拟电路。混频器输出的中频信号由模数转换器（ADC）转换为数字信号，送至数字信号处理单元，开始数字信号处理之旅。数字信号处理单元完成电台选择、FM/AM中频调制信号解调、立体声信号解码和输出数字音频信号的任务。数字音频信号经D/A转换器转换后还原出模拟音频信号。

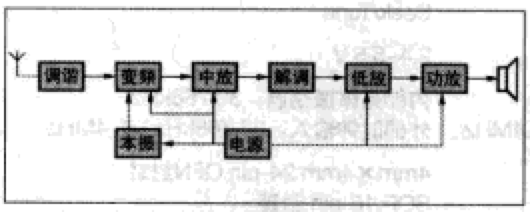


图1 传统收音机组成方框图

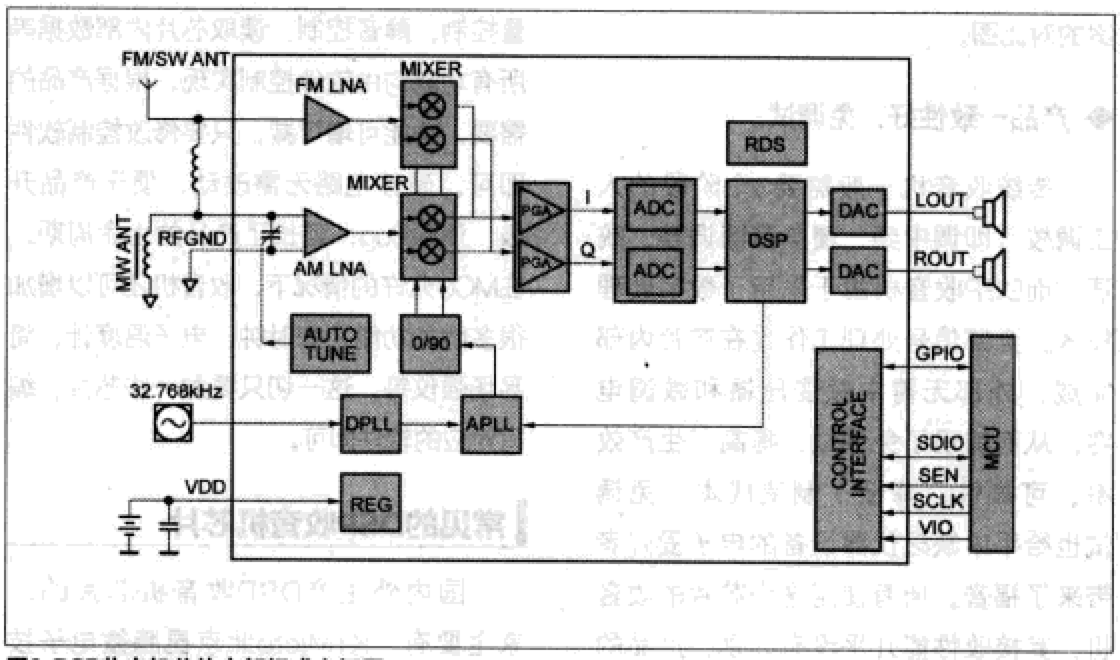


图2 DSP收音机芯片内部组成方框图

通过上面的分析我们可以知道，DSP收音机是建立在DSP硬件平台上的，DSP硬件平台一般都需要软件编程来控制，这种软件控制硬件，实现无线电接收的技术称之为软件无线电技术（Software Defined Radio，简称SDR）。

软件无线电（SDR）

所谓软件无线电（SDR），就是在采用DSP技术的前提下，在可编程控制的DSP硬件平台上，利用软件来定义（控制）实现无线电接收机的各部分功能，包括前端接收、中频处理以及信号的基带处理等。即整个无线电接收机从高频、中频、基带解调直到控制协议部分全部由软件编程来完成控制。其核心思想是在尽可能靠近天线的地方使用宽带的模拟/数字转换器，尽早地完成信号的数字化，从而使得无线电接收机的功能尽可能地用软件来定义和控制。总之，软件无线电是一种基于数字信号处理技术，以软件控制为核心的无线通信体系结构。

目前的DSP收音机只在电台选择、FM/AM中频调制信号解调、立体声信号解码和输出数字音频信号环节采用了DSP、SDR技术。

DSP收音机的优势

◆ 高度集成化，外围元件少，有利于缩小产品体积。

从图2的框图可知，DSP收音机的电路组成结构比普通模拟收音机电路复杂得多，但随着集成电路制造技术的进步和现代通信技术理论的发展，在DSP收音

机中，从接收输入信号到输出音频信号的所有功能全部集成至单颗芯片。除控制电路外，芯片外围只需几个元器件和几平方厘米的电路板空间，远少于需要几十个元器件和几十平方厘米电路板面积的传统解决方案。电路板面积小自然可以缩小产品体积，图3和图4是两种方案的对比图。

◆ 产品一致性好，免调试。

传统收音机一般需要3个阶段的人工调校，即调中频、覆盖范围调整、统调。而DSP收音机由于采用了数字处理技术，全部信号处理工作均在芯片内部完成，外部无需中频变压器和微调电容，从而实现了免调试，提高了生产效率、可靠性，降低了制造成本。免调试也给手中缺乏仪器设备的电子爱好者带来了福音。所有使用这个芯片的收音机，其接收性能几乎没有区别，产品的一致性很好。

◆ 选择性和抗镜像干扰能力较好。

DSP收音机采用低中频架构，即把射频信号通过混频器转换为低中频信号（相对于传统收音机的中频频率）。采用混频信号镜像抑制技术，这些技术措施使得DSP收音机具有较好的选择性和抗镜像干扰能力。

◆ 软件编程控制，便于增减功能，控制灵活。

DSP收音机搜索电台、频段切换、音量控制、静音控制、读取芯片内部数据等所有功能均由软件控制实现。根据产品的需要，功能可增可减，只要修改控制软件即可。硬件电路无需改动，便于产品升级、消除Bug，延长了产品的生命周期。在MCU允许的情况下，收音机还可以增加很多附加功能，如时钟、电子温度计、简易场强仪等，这一切只要加一些芯片、编写对应的软件即可。

常见的DSP收音机芯片

国内外生产DSP收音机芯片的厂家主要有：KTMicro北京昆腾微电子技术有限公司，代表型号有KT091X系列（AM/FM接收）、KT0830（FM接收），Quintic昆天科微电子，代表型号为QN8035，BEKEN博通集成电路（上海）有限公司，Silicon Labs芯科实验室有限公司，代表型为Si473x系列。

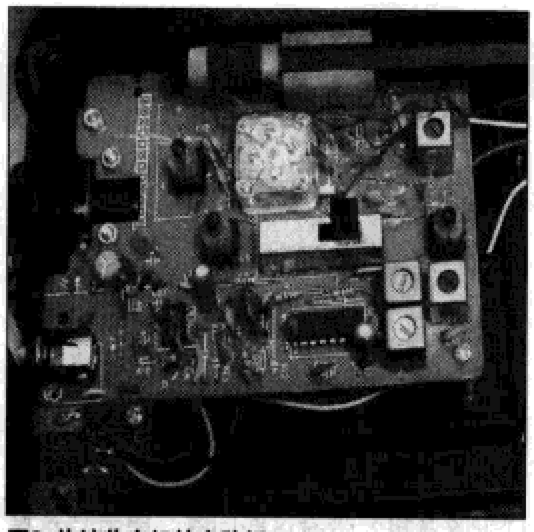


图3 传统收音机的电路板

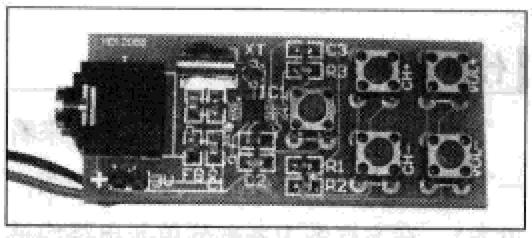


图4 DSP收音机的电路板

笔者选用了BEKEN博通集成电路有限公司的3款DSP收音机芯片，进行了DSP收音机的设计实验，并制作出了两款实用的DSP收音机，本期为大家介绍其中一款。3款芯片的技术特性概览参看附表。

附表 BEKEN的3款DSP收音机芯片技术特性概览

芯片型号	BK1079	BK1080	BK1088
接收频段范围	FM 76~108MHz	FM 64~108MHz	FM 64~108MHz 中波 520~1710kHz 短波 2.3~21.85MHz 长波 153~279kHz
是否有电子音量控制	有，16级	有，16级	有，32级
是否可以驱动耳机	可以	可以	可以
是否需要MCU控制	不需要	需要	需要
总线接口	无	SPI/I²C	SPI/I²C
是否具有RDS/RBDS 接收功能	否	否	有
是否立体声	单声道	FM立体声	FM立体声
搜台方式	Seek	Seek/Tune	Seek/Tune
工作电压范围	2.0~3.6V	2.5~5.5 V	2.4~5.5 V
时钟范围	32.768kHz，支持无外部时钟工作模式	内部晶体振荡器：32.768kHz 外部时钟输入：32.768kKz~38.4MHz	内部晶体振荡器：32.768kHz 外部时钟输入：32.768kHz~38.4MHz
封装	10-pin MSOP	4mm×4mm 24-pin QFN 封装 3mm×3mm 20-pin QFN 封装 TSSOP 16-pin封装 SOP16-pin封装	4mm×4mm 24-pin QFN封装 SOP 16-pin 封装

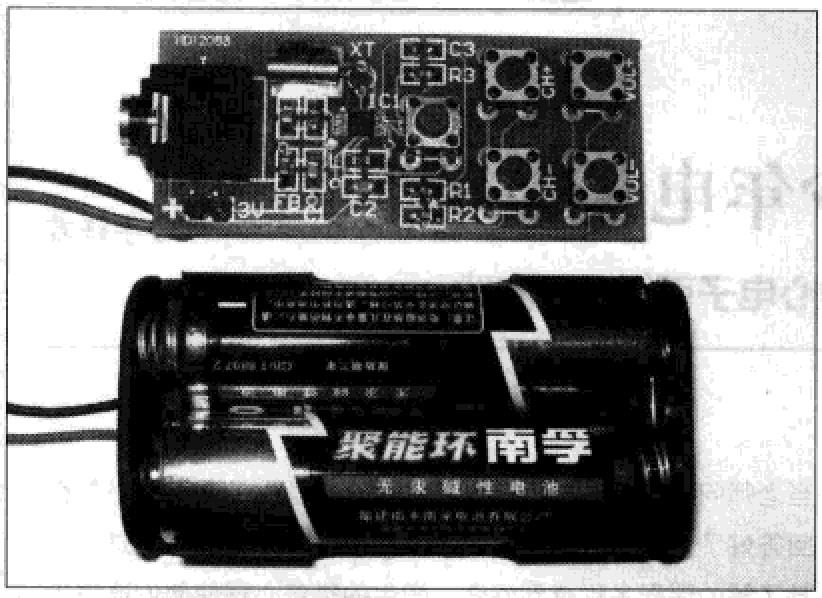


图5 无需编程的微型DSP调频收音机

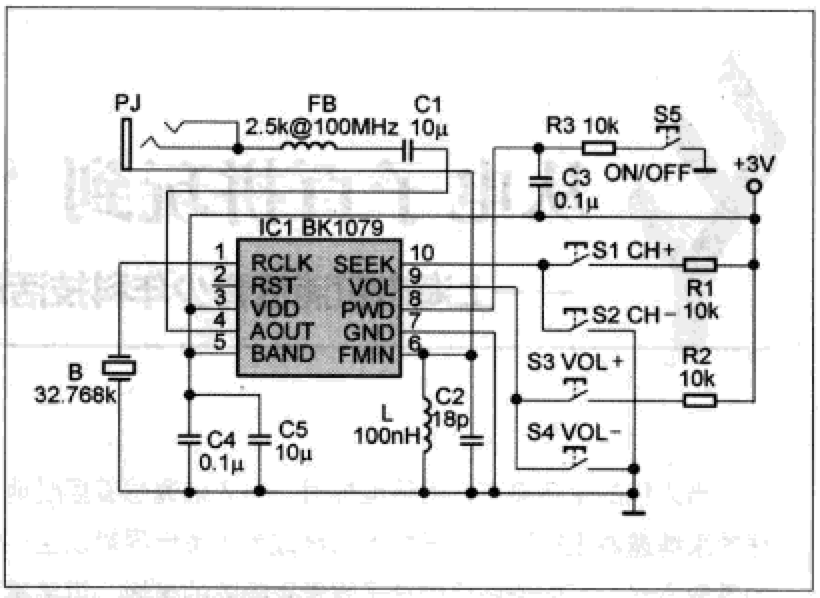


图6 微型DSP调频收音机电路原理图

实例

无需编程的微型DSP调频收音机

我们来制作一款无需编程、只要按图索骥、焊接正确，一装就响的微型DSP调频收音机。说它是微型，是因为它的尺寸只有55mm×24mm，只有两节5号电池大小，如图5所示。它用耳机收听广播，上/下搜台、音量调整、开/关机操作由5只轻触开关完成。

◆ 电路分析

这个小收音机的电路图如图6所示。收音机的核心元件是BK1079单芯片DSP调频收音机芯片。从图6可以看出，BK1079所需的外围元件较少，可以缩小PCB面积，适合用来制作微型收音机、玩具和个人媒体播放器的收音模块。BK1079的5脚为频段控制端，5脚接地时，频段为87.5~108MHz，拉高时，频段为76~108MHz。在图6中5脚接电源正极，所以接收频段为76~108MHz，可以用来收听校园调频广播。由于BK1079是单声道输出，所以两个耳机并联使用（并联后为16Ω）。这款小收音机利用耳机的导线充当接收天线。磁珠FB对高频信号阻抗很大，可以避免耳机导线接收到的高频电台信号被BK1079的4脚内部电路旁路掉。BK1079不需要软件控制，所以采用的是硬件搜台(Seek)模式。

◆ 使用方法

图6中轻触开关S1是向上搜台键，开机后按动一次S1，收音机将从频段的下边界开始向上搜索电台，搜到台后自动停止。再次按动S1，将继续向上搜索电台，当搜索到频段的上边界时，BK1089会返回频段的下边界循环搜索。S2是向下搜台键，使用方法与S1相同，只是搜台方向相反。S3/S4是音量升/降键，按动S3/S4一次，音量升/降一级。当按住S3/S4不放，则音量连续升/降，直到声音最大/最小。开机时音量默认在中等音量。BK1079具备软关机功能，上电后BK1079处于待机状态，按动一次S5后，芯片开始工作，再次按下S5后，芯片再次进入待机状态。待机时芯片消耗的电流只有10μA左右，可以忽略不计。

◆ 元件选取

本机的电阻、电容、电感均选用0805封装的贴片元件。FB为0805封装的贴片磁珠，磁珠在100MHz时的阻抗为2.5kΩ。晶体振荡器B要选用精度为200×10^{-6}或优于200×10^{-6}的。如果晶体振荡器不容易购买，BK1079还可以工作在免晶体振荡器模式，此时只要将BK1079的1脚接地即可。免晶体振荡器模式下搜台时去除假台的能力稍差些。

◆ 使用体会

BK1079的实际使用效果还不错，除了北京本市（笔者所在地）的调频电台全部顺利接收到外，还收到了两个河北省的电台，对于这种微型收音机来说，其灵敏度还是不错的。由于BK1079采用了DSP技术，所以它的频率稳定性很好，搜到电台后决无跑台的现象。所以笔者觉得用BK1079取代功能类似的模拟收音机芯片TDA7088（SC1088、CD9088）制作微型收音机是很好的选择。笔者组装过几种采用xx088芯片的收音机套件，它们共同的问题是跑台，搜到的电台在收听时突然就没有了，所以此类模拟收音机芯片的工作稳定性不是很好。更何况BK1079具有电子音量控制、可以直接驱动耳机、杜绝了跑台的问题、外围元件少，这些优势都是xx088类芯片不具备的。

全国“少年电子技师”认定活动专栏

从电子百拼玩到“少年电子技师”

——上海市黄浦区青少年科技活动中心电子百拼课程实践

◇李娅君

当人们的生活离不开网络世界时，当人们遐想着摆脱地球的束缚遨游太空时，电子技术已经成为人类世界赖以生存的重要方式。可就像城里的孩子吃着香喷喷的米饭、讥笑着农民种水稻的方法太老土一样，众多将网络世界奉为高科技的人们，因为不懂得“电子”为何物，而认为电子应该归置于故纸堆中。没有了20世纪80年代对电子科技那样的狂热，又多了大千世界那么多精彩游戏的诱惑，加之学生“生命安全”法律界限的朦胧，怎样将“少年电子技师”这样一项培养高科技人才的教学项目纳入学校兴趣课程中，一直是电子技术教育工作者努力探寻的重要课题。

兴趣是成功的基石。作为素质教育的一个重要组成部分，上海市各中小学都实行了每周半天的课表内兴趣课。兴趣课的项目设置并没有统一的要求，各学校可以根据师资条件和学生兴趣而定。怎样合理运用课时资源引导“少年电子技师”活动的顺利开展呢？

合理选择学习器材，引领学生兴趣

开学伊始，作为比较冷门的电子制作课，老师都会好奇地问学生一句“为什么选择这个兴趣小组”，学生们会有各种答案，但最常见的回答是“我对这门课很感兴趣”。可是当老师问为什么对这门课程感兴趣时，学生们却不知道怎么回答好了。其实经验丰富的老师都知道，学生的意思是对不甚了解的课程名称感到好奇，学生的猎奇心理使他们选报了兴趣小组。老师要做的就是引导学生找到真正的兴趣点，并维持学生的长久兴趣，直至真正入门，甚至深入到更高层次的探究。

电子制作兴趣班课堂

传统的电子制作教学是将电子元器件用焊锡焊接在印制电路板上，这样做的优点是更接近工厂生产的商品，缺点是5人以上的教学环境，安全问题难以把控。而作为课程内的兴趣课，一般都在10人以上，因此以传统的教学内容和教学方法执教，有一定的难度，尤其是对动手能力较弱的低年级学生。

上海市黄浦区青少年科技活动中心根据学生的特点和课程的性质选用了一种将透明安装底板和各种电子元器件（电阻、电容、二极管、三极管、导线等）焊接在带有子母扣的塑料块上的组件开展初级兴趣班活动。该类组件用文字和符号标出各元器件的名称和规格，利用塑料块上有弹性并能够导电的子母扣，在安装底板上将元器件有序地连接成一个完整的电路。从简单的电灯电路到复杂的中波收音机电路，不用焊接，也不用工具，便可在较短的时间内完成各种电路的装配。装上电池，闭合开关就能显示出电路的声光效果。这种教学方式使得兴趣班的课堂教学变得简单、直观。

上海市黄浦区青少年科技活动中心选用的基础套件，能够为学生提供一百多套电路，为课堂教学提供了丰富的内容。当学生们亲自动手，将一堆新奇的模块组建成风扇、门铃、收音机、报警器等作品时，兴奋之余，成就感油然而生，进一步激发了他们对电子科普、电子实作的兴趣。

笔者曾经做了一个小小的调查，小学一年级新生班，从开学第二天，模块上的中文字都还不认识时，就让学生们上电子制作兴趣课，孩子们玩得津津有味，就这样，慢慢地培养了孩子对电子技术的浓厚兴趣和深厚情感，而后，有的孩子到小学高年级及中学继续保持了对电子技术的热爱，并逐渐掌握了较强的动手实践能力。

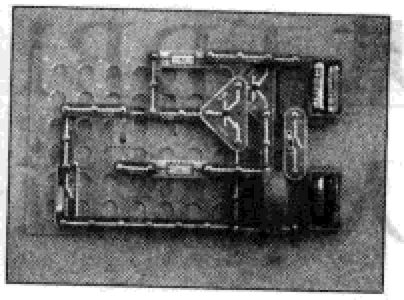
从简单模仿到变通应用

从一枚小电珠、两节五号电池组成的简单电路到能够调出多个电台的收音机，轮番搭建一遍后，学生们的态度会从自信转向无聊，兴趣点也会随着眼界的开阔而慢慢消失。这时，学习由模仿阶段进入了第二阶段——变通阶段。

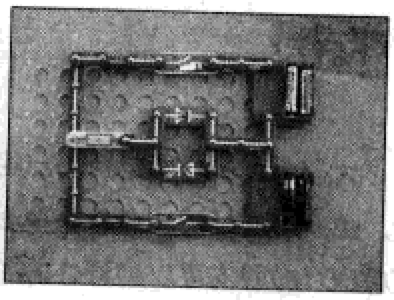
变通阶段的学习是对电路的应用，这是电子制作课程的另一个兴趣点。从简单模仿制作到精通电路原理有很长的路要走，很多制作都涉及到初、高中物理知识的电子理论，这不是几节枯燥的理论课就可以理解的。要使学生保持持久的兴趣，最有效的方法是让学生在实际应用中谋求电路的适应性，寻求合理的改进方案，从而了解、掌握相关知识和原理。

比如学生在做“警笛”这个小制作时，通过老师的启发，学生们想到了该电路各种不同的用途，如下雨报警装置，用于晾晒衣服的晒台处，尿湿报警装置，用于婴儿睡床；物品被盗报警器，用于家里贵重物品防窃等。还有学生提出是否可以做一个区别家庭成员与来客的访问门铃？前3个问题都可以通过选择合适的开关得以解决，而且学生在提出自己的点子时，小脑瓜里都已经有了解决方案。最后一个点子，大家都说可以通过不同的声音来区别，却不知道怎样在一个简单的电路中得到不同的声音。学生们在一阵头脑风暴后，老师给出了关于LC电路、振荡频率等知识点，学生们豁然开朗，解决问题的同时，也激起了他们对电子电路探索的极大兴趣。由此，灵活运用电阻、电容，晶体二极管、三极管等元器件成了学生们乐此不疲的趣事。

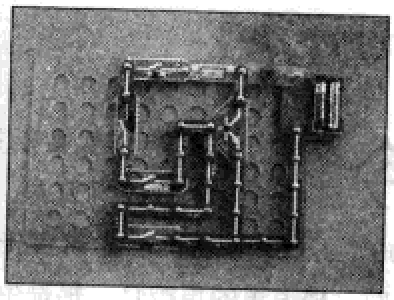
作为电子制作兴趣课的学习成果，上海地区的很多学校都开始将百拼电路为主的创意制作作为学校科技节的展示项目之一。在作品展示中，看着许多参观者投来的赞许目光，电子制作兴趣班的成员们在自豪之余更增加了信心。



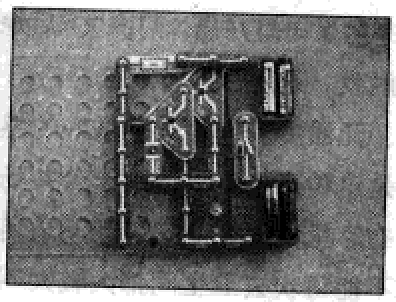
文物防盗器



电子交通协管装置



银行卡密码验证装置



夜间工地警示装置

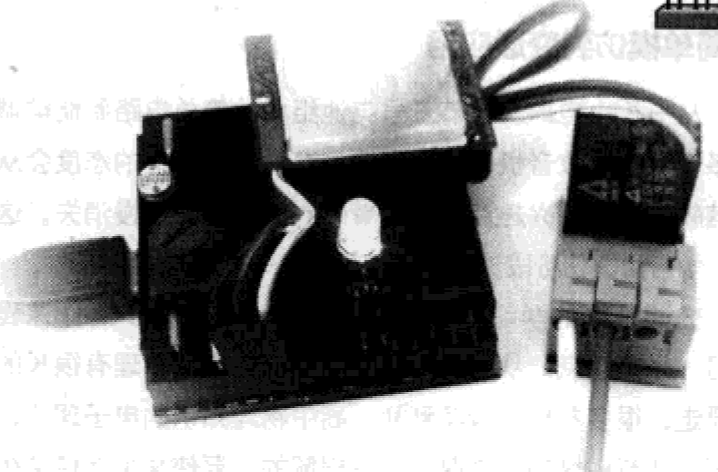
从竞技到少年电子技师

上海市黄浦区青少年科技活动中心为了让参加电子制作兴趣班活动的学生成长为真正意义上的“少年电子技师”，使学生的能力得到全方面的发展，特意选了有丰富教学经验的老师带领学生们参加各种全国性质的电子科普、电子制作比赛。因为，参赛是一种历练，也是一个学习知识、巩固知识的过程。当学生们开始第一个电路拼搭的时候，也许他们会说“成功就在眼前”。把一枚小电珠、一个开关、两节5号电池，按在塑料板上，电灯就被点亮了，好简单呀！可当学生亲历赛场时，他们就会感受到千变万化的电路让人应接不暇的魅力了。

参赛是学生时代的一个经历，也是知识运用的一种历练，更是技术掌握的一种升华。因此，选择这样一种方式，让学生通过参加电子制作兴趣班，穿梭于各种全国比赛的赛场，使他们各方面能力都得到锻炼与提升。“少年电子技师”是一个称号，也是一种知识量的度衡。

兴趣是学习的动力，然而，兴趣不会是凭空而就的，只有当你自由地遨游在某门知识的海洋里，才可能成为与这门知识有关的爱好者。维护持久的兴趣，不仅靠学习者的毅力，更要靠执教者的认真付出。还需要教师确定电子制作兴趣课的教学目标，制定出合适的教学计划，选择符合学生学习的电子器材，通过一定的方式（比如参加各种全国比赛）来丰富学生电子制作的阅历，从而增加学生学习的成就感，激发学生在电子制作世界的求知欲望。愿更多的电子制作课程的老师，在辛勤的耕耘中为学生撑起一片持久兴趣的蓝天。

基于DB1的人体感应灯开关



◇杜洋

大家好，不知不觉我们已经完成了8款基于DB1电子积木的小制作。通过之前的制作，我相信大家已经熟悉了DB1的设计理念，也有了些经验。所以在今后的文章中，我们会单刀直入地介绍制作过程和使用方法，不再多说DB1电子积木的概念了。不了解DB1的朋友可以翻看之前的文章。同时也欢迎大家将你仿制和改进的DB1作品，在圈内的论坛、微博上与大家分享，让更多的朋友了解DB1，享受DB1。

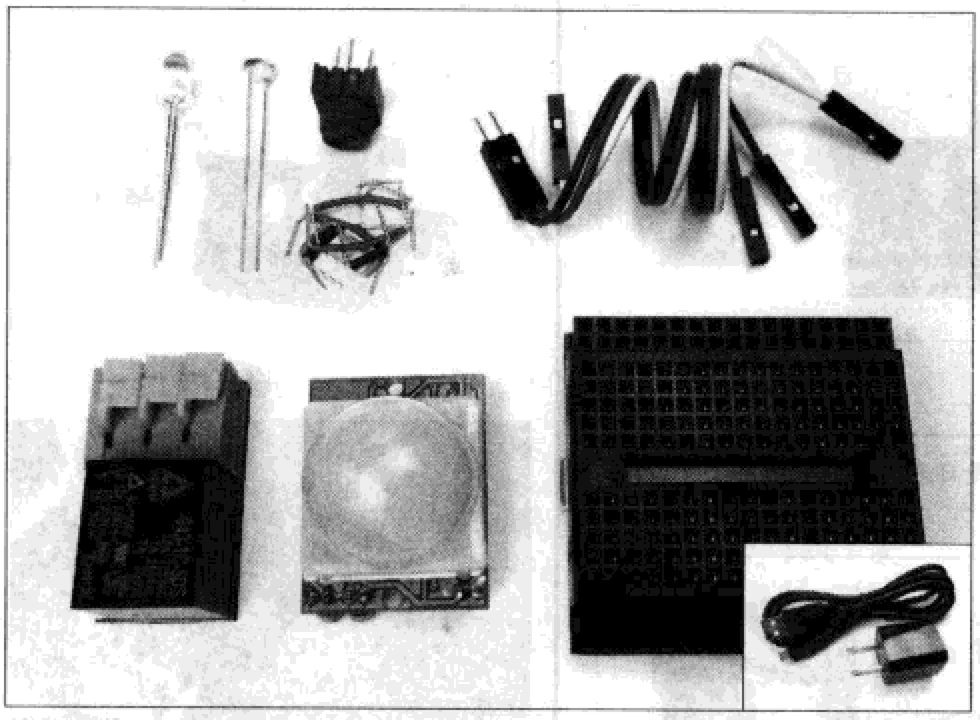
今天我们来制作一款智能家居产品——人体感应灯开关（DB1-009）。提到感应灯，大家首先会想到走廊、楼道里的声控灯，那是生活中最常见的感应灯。它利用人的喊声或击掌声来触发电灯开启，灯亮30s后熄灭，再次触发，再亮30s。声控感应灯的成本低、元器件少，是一种很好的感应灯。但是这种声控灯只适用于公共场所，如果在家里的卫生间安装就不适用了。我们不能每次去卫生间都大喊大叫，也不能忍受周围有一点响动，卫生间的灯就亮，好像闹“鬼”一样。所以我们需要一种更“斯文”的感应装置，它不需要人们特意发出触发信号，而是它能直接“看”到人，然后触发开关。于是我选择了人体红外传感器，也叫热释电传感器。它有一个特殊的“眼睛”，可以接收到人体发出的红外线，再经过一系列复杂的滤波和放大，最后触发灯开关。目前市场上有大量已经制作好的人体红外传感器模块，它把滤波和放大电路都集成在模块上。电子爱好者只需要处理一个简单的低电平触发信号就行了，非常方便。但是好东西都有缺点，人体红外传感器的“眼睛”并不像人眼这么高级，它更像青蛙的眼睛。大家都在小学的课文里读到过青蛙捕蚊子的故事。青蛙的眼睛虽然又大又圆，但它只能看到运动的物体，对静止不动的东西视而不见。人体红外传感器的“眼”和青蛙的一样，只能看到运动的人体。可能是为了证明这一点吧，传感器的PCB都做成和青蛙皮肤一样的绿色。

使用人体红外传感器的结果是：如果你想让灯一直亮着，你就要在卫生间里一直动来动去。为了设计出更人性化的装置，我想到了一个方法：当我们走进卫生间的时候，DB1倒计时60s，并在此期间不断检测触发信号，如果有人运动，就重新回到60s倒计时。这样只要我们在60s内有运动，灯就会一直开着。但如果在60s内没有人运动，灯还是会关掉，这时我们就在倒计时到最后15s的时候让LED指示灯闪烁，提醒人们该动一动了。如果人已经离开了，那LED闪烁15s后就自动关灯。

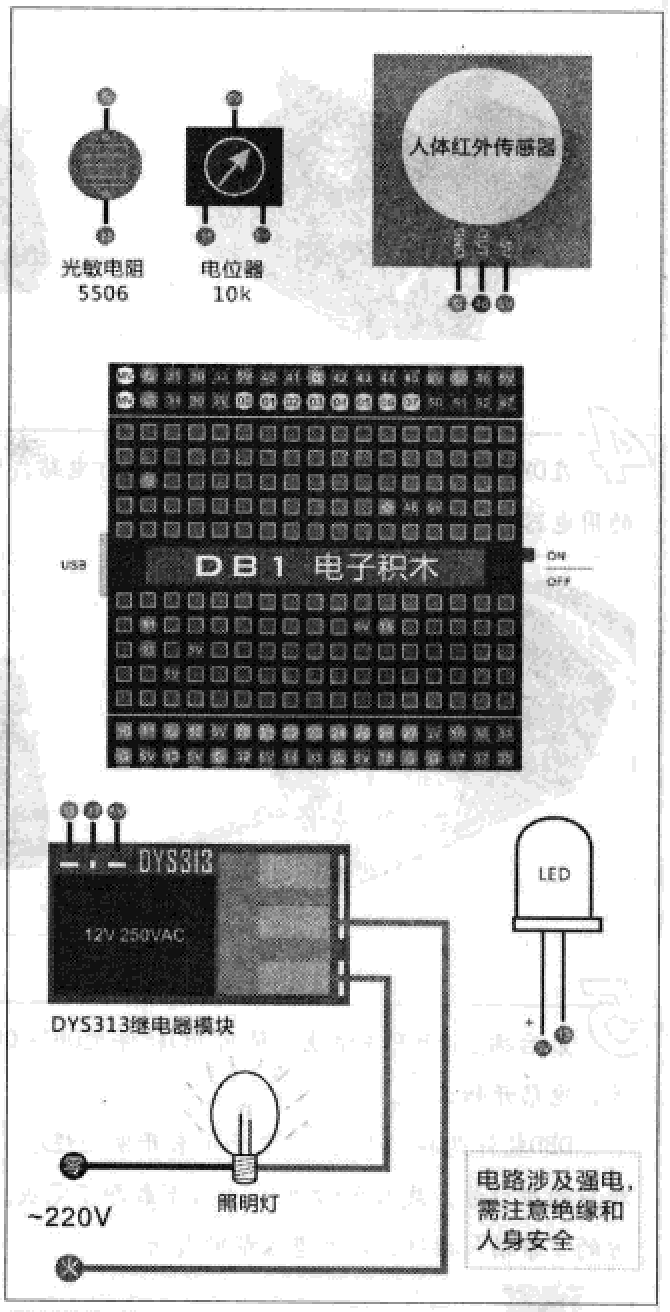
为了证明这个设计是否有效、方便，我在自己家的卫生间安装了一套做测试。经过我父母、奶奶、三舅、老姨、老姨夫的试用，一致认为很实用。同时在试用过程中还发现了一个问题，就是在电灯关闭的一瞬间，光线的突然变化会对传感器产生干扰，再次触发开灯。为了防止关灯干扰，我在DB1-009的程序中加了一条延时语句，在关灯的2s内禁止触发。另外，我家的卫生间没有窗户，不论白天、黑夜都没有阳光，所以只要人进去，就必须亮灯。但是我知道有很多房子的卫生间是有窗户的（猜也猜得出来），所以我特别加入了光敏电阻电路，在白天卫生间有光的时候禁止触发，以节省电能。通过电位器可以方便地调节禁止触发的环境光强度。本来是希望在程序里面调节的，但是我发现在实际使用环境中，给单片机反复下载程序太麻烦了，于是我改用电位器的方案，更方便调节。

DB1-009人体感应灯开关是完全开源的小制作，源程序包及专门为DB1下载程序用的DBD软件，可以在《无线电》杂志的官方网站www.radio.com.cn上找到。你可以在源程序中任意修改参数，或者加入适合你的新功能。好了，下面我来介绍一下DB1-009的制作过程和注意事项。

制作过程



所需元器件

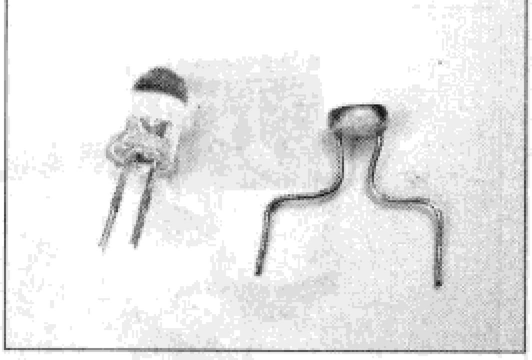


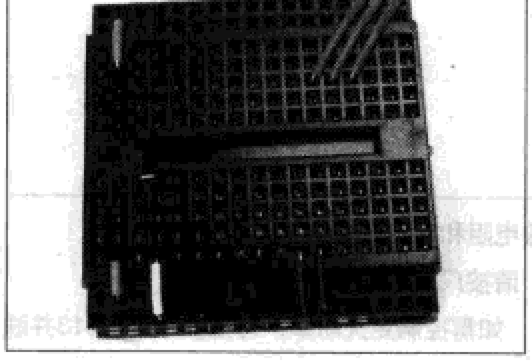
电路原理示意图

元器件清单：

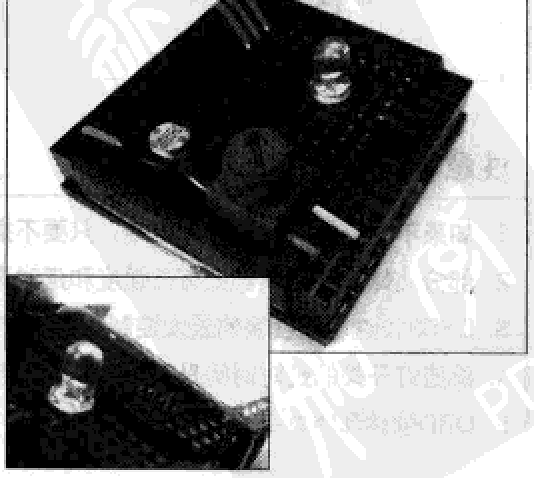
序号	品名	数量	说明
1	DB1主模块	1个	
2	DYS313继电器模块	1个	
3	人体红外传感器	1个	球型传感面
4	10kΩ电位器	1个	如不需要光敏控制时可省略
5	5506型光敏电阻	1个	如不需要光敏控制时可省略
6	LED指示灯	1个	可根据喜好选择颜色
7	3PIN杜邦排线	1条	
8	MicroUSB线	1条	
9	USB电源（5V电源）	1个	
10	硬质导线	若干	

1 首先将LED的引脚剪短，把光敏电阻弯曲成图中的样子。按照电路原理示意图在DB1主模块上插好导线。



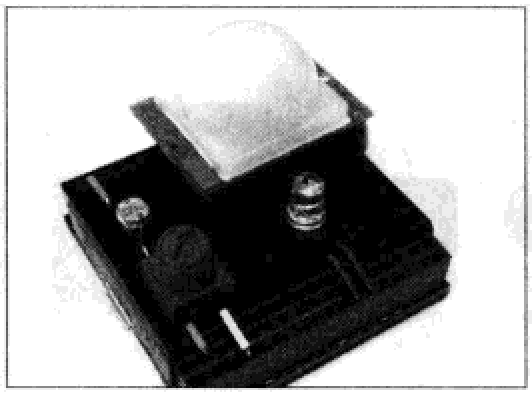


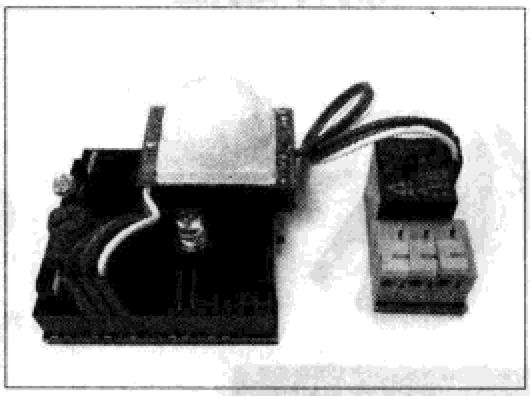
2 然后插上LED、光敏电阻和电位器，再插上人体红外传感器，注意插接的位置。



3

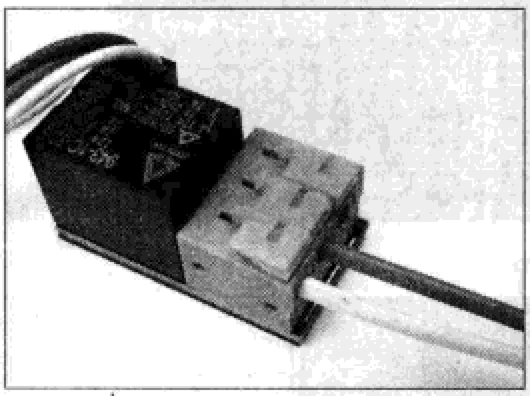
用3PIN杜邦导线连接DYS313继电器模块和DB1主模块。

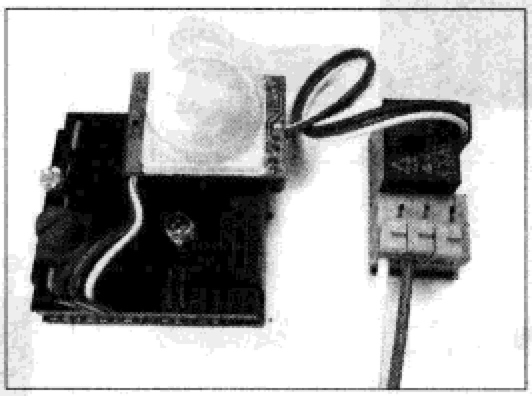




4

在DYS313继电器模块的控制端连接电灯电路，可以是日光灯和其他功率小于1700W的用电器。

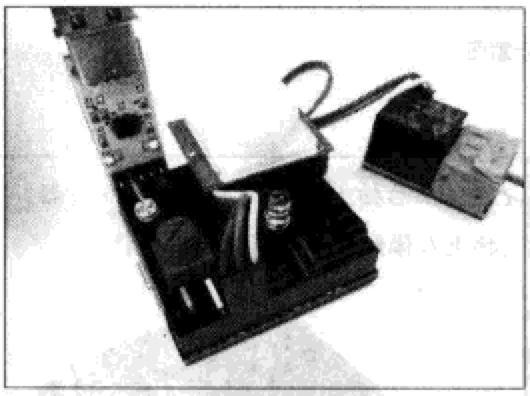




5

最后插上USB下载模块，使用DBD软件把DB1-009.HEX文件写入DB1主模块，接上电源，电路开始工作。

DBD软件是我们专为DB1电子积木开发的程序下载软件，使用起来非常简单。选择对应的串口号，载入HEX文件，点击下载即可完成。如下载遇到问题，可以点击软件下方的“帮助”按键，即可进入帮助页面。

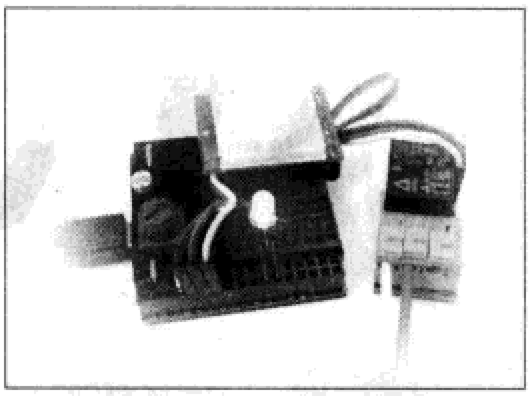


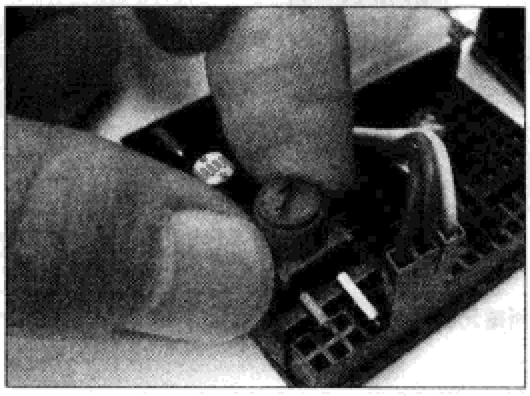
注意事项

1. 如果不希望加入光敏控制电路，只要不插光敏电阻和电位器就可以了。
2. 部分人体红外传感器上有灵敏度和延时调节，请按厂商说明设置。
3. DYS313继电器模块的最大控制功率是1700W，如需控制更大功率，可把多个DYS313并联。
4. 感应灯开关的延时时间是60s，如要改变延时时间，可在源程序中修改。
5. DBD软件和DB1-009的源程序包可以到《无线电》官方网站www.radio.com.cn上下载。

6

将电路置于实际环境中，然后调节电位器，使电灯在白天的时间不工作。

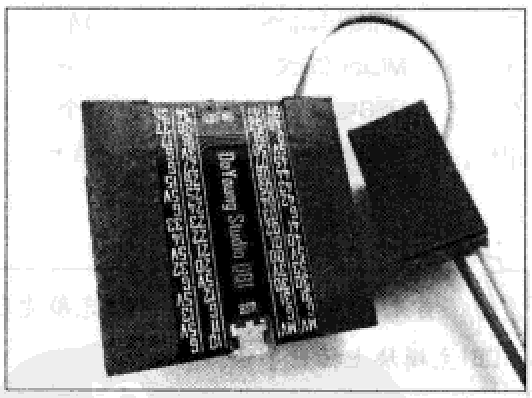


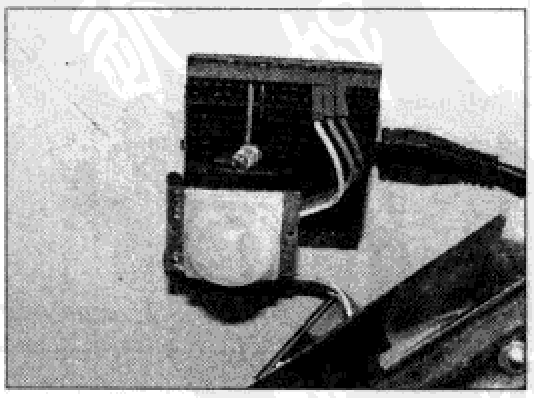


7

撕下DB1主模块和DYS313继电器模块背面的强力胶纸。将它们固定在电灯旁边的天花板上。

因为我家的卫生间没有窗，所以没有加入光敏电阻控制电路部分。





全国“少年电子技师”认定活动专栏

月牙湖畔的科技教育之星

◇张元庆

随着时代的发展，教改的深入，南京市开展“少年电子技师”认定活动的学校越来越多，如南京市大光路小学、南京市游府西街小学、南京市北京东路小学等数十所中小学校，这些学校的电子科技教育各具特色。不过，走进南京市月牙湖小学电子作品展览室，那些琳琅满目、小巧可爱的电子作品依然让人感到惊讶，电动牙刷、电子摆变色灯、无线电遥控鼠标、灯用单开关节能控制器等作品让人目接不暇，有的作品还获得国家实用新型专利和奖项。值得一提的是，这些作品均出自南京市月牙湖小学这些十来岁的小学生之手。

南京市月牙湖小学，坐落于城东月牙湖畔，是江苏省青少年科技活动先进集体、南京市科技教育普及性特色学校。在开展科技普及教育方面，学校领导予以了大力支持，在全区乃至全市起到了带头作用。开展科技普及教育12年来，教师不断摸索、创新、总结经验，使得南京市月牙湖小学取得了丰硕的成绩。

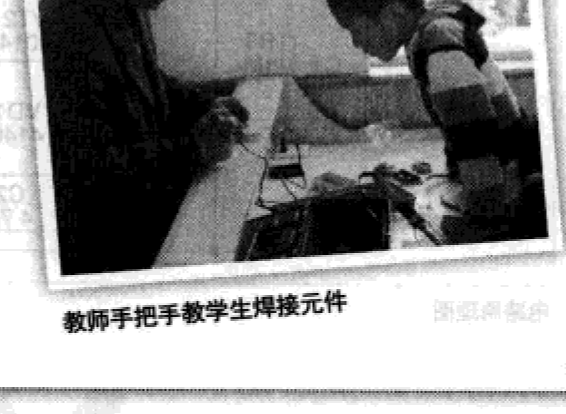
2000年，学校为了响应教育部倡导的新课程改革，全面提高青少年的科学文化素养，特地创建了“少年电子技师”科技班，以组织实施学生的电子科技活动。为了办好科技班，学校把80m²的教室作为专用活动室，室内配置了13张工作台，每张工作台可容纳4人操作。学校还购置了40套工具箱，工具箱内有M47型万用表、30W电烙铁、烙铁架、松香、焊丝、一字起、十字起、尖嘴钳、剥线钳等工具。学校安排每周三下午的两节课为“少年电子技师”活动课，由专业电教老师授课。经过一系列准备工作，学校把电子科技教育纳入了常规教育教学体系中。

为了更好地适应小学生的认知特点，教师改变了常规的教育方法，由浅入深、循序渐进，将普及电子基础知识与电子制作结合起来，让学生先认识简单的电路图，再认识电子元器件，知道分立元件的基本作用……这样，经过一点一点的努力，很多学生对电子科技这门课程产生了兴趣。

不过，对于小学生而言，让他们明白、理解这些电子科技知识，并运用到实践操作中却困难重重。教师在授课过程中，十分注重教学设计，根据小学生的认知特点，选用适当的教学策略。比如，在讲解电阻时，小学生还不会识别色环电阻器的电阻值，教师就告诉学生，先看电阻的第3环是什么颜色，然后根据不同的颜色判断电阻的数值。例如，560kΩ电阻，它的色环分别是绿、蓝、黄，根据电阻色环表，可以得知，绿是数字5，蓝是数字6，黄是数字4，前两道色环是56，第3道色环是4，于是在56后面加上4个0，等于560000Ω，再除以1000就是560kΩ。小学生就可以通过这样的方法得到电阻的阻值了，从而避开了还没有学过的物理公式。

在科技班上，想要完成一个作品，往往需要了解很多的理论知识。小学生在课堂上的注意力集中时间很短，如果辅导教师理论讲得太多，会很枯燥，小学生就不耐烦了，从而也会失去对电子科技的兴趣。为了调动学生的积极性，南京市月牙湖小学的教师采取先动手制作、后讲解问题的方法。在讲解完基础知识后，首先让学生按原理图进行焊接制作，逐步完成作品，教师对制作过程中出现的问题，进行有针对性的讲解。经过时间的积累和大量的动手实做后，学生们就会慢慢地理解电

学生在组装电子钟



教师手把手教学生焊接元件

三年级学生在焊接电源线

路的基本原理，从而自己动手去排除电路故障。

这些方法，虽然看起来并不复杂，但都是月牙湖小学的教师们在一次次教学中摸索出来的宝贵经验，针对孩子们在小学阶段的身心特点，让原本复杂、深奥的电子科技知识更快、更好地被学生理解和运用。

但是，电子科技班的成员毕竟是学校学生中的少数部分，为了真正在全校普及电子科技知识，学校还做了很多工作。2005年，学校组织编写了校本教材——《小学生电子百拼100例》，教材按年级段编写，内容由易到难、由点及面，对电子百拼电路进行了细致地分类。教材集趣味性与知识性于一体，让学生可以举一反三地掌握更多的电子科技知识。学校以这套教材为主要教学内容，安排小学3、4年级的学生每周一节电子课，在全校范围内全面开展电子科技教育。

十多年来，月牙湖小学的电子科技教育活动取得了累累硕果。先后荣获过“江苏省少年电子技师认定单位”资格，“少年电子技师认定活动先进单位”等称号。在每年举办的江苏省“少年电子技师”电子制作大赛中连续10年荣获团体一等奖。学校每学期自愿报名参加电子制作班的学生有35人左右，先后有三百多名学生获得了三级“少年电子技师”证书。

实践证明，月牙湖小学开展的电子科技教育活动，培养了学生的动手能力和创新意识，由“做”到“学”，从制作简单的电路到掌握电子技术知识，月牙湖小学走出了一条别具特色的电子科技教育道路。

“少年电子技师”课程典型案例

声控变色眼

南京市月牙湖小学的教师根据多年的教学经验，设计出了一百多种适合电子制作教学的实用电路，如多谐振荡器、声控电子鸟、音乐旋转灯、音乐摇摇棒等。这些电路结合小学生的兴趣，兼顾实用性，十分适合学校开展“少年电子技师”活动中的电路制作项目。下面，就让我们一起来分享其中一个有趣的小制作——声控变色眼。

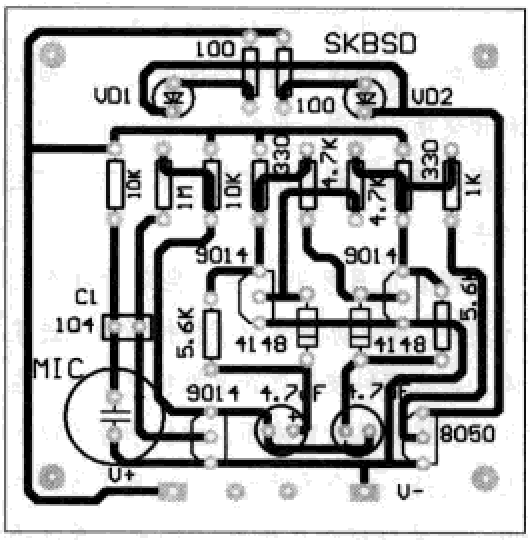
声控变色眼开关电路简单、实用，只需用击掌声就可以使开关电路动作。这个有趣的小制作通过第一次击掌便可以点亮LED灯，LED灯随机变换颜色，直到再次击掌，LED灯熄灭。当然，只要声音达到一定分贝，就可以触发电路动作。

通过声控变色眼开关电路的制作，使学生了解自动控制的工作过程，提高他们学习电子电路的兴趣。现在一起来看一下它是如何制作的吧。

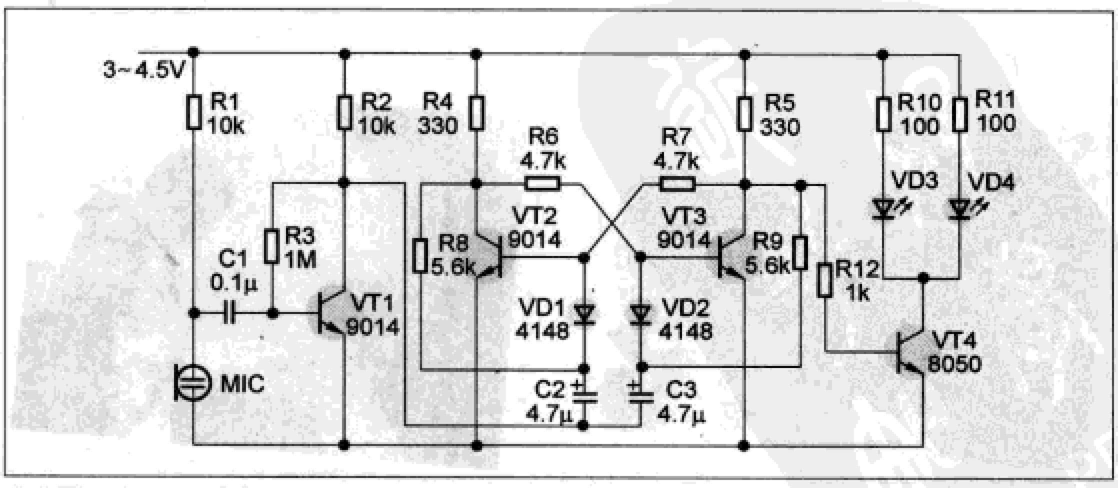
◇ 电路原理

图中驻极体话筒MIC作为声波传感器，它能将接收到的声音转换成几毫伏的电信号，通过C1加到VT1基极进行放大。三极管VT2、VT3，电阻R3、R4、R5、R6等元件组成两个放大器，VD1、VD2、C2、C3、R7、R8等组成自控门触发电路，电阻R10、R11是VD3、VD4两个变色发光二极管的限流电阻，R12是三极管VT4的基极限流电阻，VT4是驱动放大管。

这样，就构成了双稳态电路。当接通电源后，假如VT3先导通，集电极为低电平，VT4截止，使两个变色发光管不亮。若有声音传入，驻极体话筒将声波转换成微弱的电信号，再由C1送入VT1进行信号放大，由VT1集电极产生触发信号，使双稳态电路翻转。VT3由导通状态变成截止状态，VT3集电极变成了高电平，使VT4导通，两个变色发光管点亮，便产生自动发出7色光效果。当有声音再次传入时，双稳态电路再次翻转，VT3由截止再次变成导通，使VT3集电极又变成低电平，VT4失去基极电流而截止，两个变色发光管熄灭。再次击掌则重复以上过程。这样，声音就可以控制LED灯的点亮和熄灭，犹如两只眼睛在声音的驱动下，不停地变换着七彩的颜色。



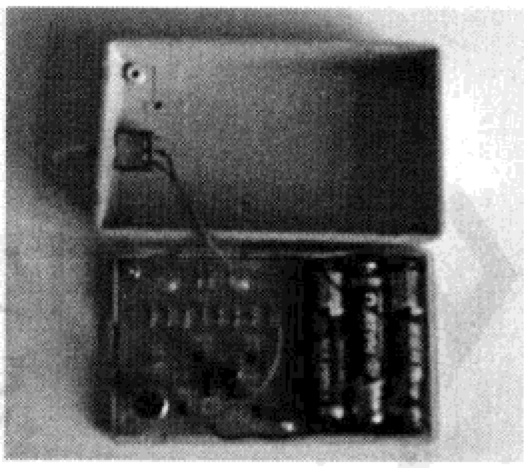
印制板图



电路原理图

◇ 元器件清单

名称	参数	数量	备注	名称	参数	数量	备注
电阻	100Ω	2	棕黑棕	三极管	9014	3	NPN型
	330Ω	2	橙橙棕		8050	1	NPN型
	1kΩ	1	棕黑红	话筒		1	电容话筒
	4.7kΩ	2	黄紫红	发光管		2	自动变色
	5.6kΩ	2	绿蓝红	印制板		1	
	10kΩ	2	棕黑橙	电池盒		1	7号3节
	1MΩ	1	棕黑绿	开关		1	
电容	0.1μF	1	磁片	塑料盒		1	
	4.7μF	2	电解	螺丝		4	Φ2.5
二极管	4148	2	黑色环为负	螺母		4	


将印制板和电池盒固定在塑料盒内

◇ 电路制作

1. 先焊接12个电阻，为了规范与美观，注意色环方向。例如100Ω电阻（棕黑棕），应将棕色朝上，不要将误差色环金色朝上。

2. 焊接两个二极管（1N4148），注意二极管的极性，带黑色色环的为二极管负极。此外，安装时极性不可插错，否则双稳态电路不能翻转。

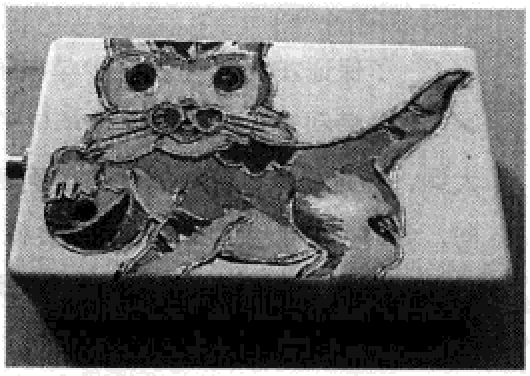
3. 安装4个三极管。注意，VT4是8050驱动三极管，三极管的C、E极（集电极和发射极）不可插错，待插好后，4个三极管的平面应该均朝右方，检查无误后再焊接。

4. 安装电容器C1、C2和C3。C1是磁片电容，无极性，C2、C3是电解电容，一般长引线是正极。

5. 驻极体话筒是无引线元件，用剪下来的电阻引线将话筒焊接上引线后再插到印制板上。注意，话筒有斜线标志的是负极。

6. 安装两个变色发光管，一般长引线是正极，插入时极性不可插错。

7. 印制板焊接完毕后可先装上电池盒进行通电实验，电路一切正常后再装入塑料盒内。


盒体上绘制的小老虎

电路制作好以后，学生还可以发挥自己的想象，把两只LED灯当做眼睛，在盒体上绘制出各种不同的图案，美化作品的同时，又增添了乐趣。这样一个既简单又有趣的小制作就完成了。

北京市第八中学亦庄分校科技节开幕

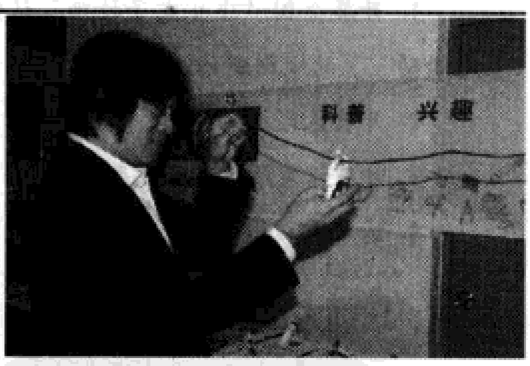
——PVC仿生机器人在科技节中引起关注

◇本刊记者

为强化科普意识，提高学生爱科学、学科学、用科学的兴趣和热情，丰富学生的课余生活。11月9日，北京八中亦庄分校以“科技点亮健康生活”为主题的首届科技节拉开帷幕。

为了向科普活动尽一份力，本刊也携带了《无线电》杂志、科普图书和科技创意小制作等展品参加了本次科技活动。本刊带去的PVC简易仿生机器人吸引了大家驻足，这种仿生机器人制作简单、取材方便，并且成本低廉、容易制作成功，用常见的PVC线槽，配以相应的套件就可以DIY出一个科技小制作。学生在制作的过程中，不但可以巩固理论知识，还能享受制作带来的乐趣，制作的成功还可以增加孩子们的自信心，提高他们对科技动手制作的兴趣。炫彩的LED光立方、会变声的蝴蝶结、Mini电子时钟等等，都吸引了大家围观。

该科技节将历时一个月，共设科普知识宣传、科技主题板报评比、科普知识讲座、科普影视片、参观科技馆等6项不同的活动，希望孩子们在科技节中能够感受科技的神奇和魅力，热爱科技，热衷DIY。



参观的老师体验绳索吊绳攀爬机器人

参观的领导对PVC仿生机器人十分感兴趣

关于举办2013年“全国少年电子技师”认定活动导师培训班的通知

为了保证2013年全国“少年电子技师”培养及认定活动顺利开展，确保“少年电子技师”导师了解活动大纲、知识要点、开展方法，明确各认定单位工作开展方向，全国“少年电子技师”组委会将于2013年1月在京举办“全国少年电子技师”认定活动导师培训班。现将具体事宜通知如下。

一、首批培训对象

在2012年12月20日前已经提出“少年电子技师”导师及认定单位申请，并经过全国组委会复审，审核通过的老师及认定单位的负责人。

二、培训内容

1. 开展全国“少年电子技师”认定活动（以下简称“认定活动”）的规则解读。

2. 开展认定活动的方法指导。

3. 开展认定活动的课例解析。

4. 认定活动导师动手实践培训。

三、培训方式

本次导师培训特邀全国组委会的专家结合认定活动的特点，对活动大纲、活动规则进行解读，并现场指导参加培训的导师进行动手实作，培训合格的导师现场颁发全国“少年电子技师”认定活动导师证书，并发放相关活动手册及资料。对考察合格的全国“少年电子技师”认定单位现场授牌。

四、培训时间和地点

为方便导师参加培训课程，本次培训班分为两期举办，各位导师可根据自身情况酌情选择其中一期参加培训。

培训时间：2013年1月20日（一期培训）

2013年1月27日（二期培训）

培训地点：北京

五、报名方式

有意参加培训的导师和单位请将填好的《培训报名表》，于2012年12月31日前发送至邮箱sndz@radio.com.cn，邮件标题请写成“姓名+学校+导师培训”形式。组委会收到报名表后，于正式培训前10个工作日将具体日程和报到通知以邮件或短信的形式发送给参加培训的导师和申请认定单位负责人。

《培训报名表》请到《无线电》网站www.radio.com.cn或少年电子技师网站http://www.imake.com.cn/下载。

有意参加培训的导师，请提前安排好各项日程，详情请来电咨询。

六、联系方式

联系人：董莎莎

电　话：010-67134095

邮　箱：sndz@radio.com.cn

dongshasha@ptpress.com.cn

全国“少年电子技师”认定活动组织委员会

2012年12月

德生S2000收音机使用锂电池供电的方法

◇张建雄

德生公司推出的S2000收音机以它独特的外形，优良的性能，超强的功能和便利的操作性，深受广大无线电广播收音机爱好者的喜爱。

购买了S2000收音机后，我一直给该机用的是4节R20（1号）充电电池。记得2008年底德生梁总带着刚刚出炉的S2000机让我们先睹为快，并亲自演示了S2000收音机使用锂电池供电的方法。由于当时锂电池的应用还不太广泛，再加上锂电池本身存在易爆炸等危险因素，收音机爱好者中很少使用锂电池给收音机供电。

随着科技的发展，锂电池的生产技术有了很大的提高，各种保护功能已经应用在锂电池及其充电器中，这就给收音机爱好者又多了一种用锂电池给收音机供电的“把玩”方式。

说干就干，首先要做好各种准备，要购买适合S2000使用的锂电池和电池盒。S2000收音机的电池仓是上、下两部分结构，4节R20电池分上、下各两节横向放置（见图1），电池采用串联连接，4节电池的电压是6V（普通电池）或4.8V（充电电池），故选用锂电池的时候，只用两节锂电池串联（7.2V）就可以满足S2000的供电要求了。根据S2000收音机电池仓的结构，宜选用单个锂电池盒两个（见图2），通过连接线串联起来，这样才能把锂电池盒放进S2000收音机的电池仓里面去。另外，为了方便锂电池盒与S2000收音机电池仓的连接，并且又不破坏S2000的电池仓，还要准备两个小号的鳄鱼夹（见图2），到时用鳄鱼夹按正负极夹在S2000收音机的电池仓正负极接点即可。另外准备好两节18650锂电池，并将锂电池充好电备用。

其次，要用烙铁把锂电池盒的连接线焊接起来，一般来说，红色作为正极的引出线，黑色作为负极的引出线，并在焊接处套上热缩管来绝缘，并把两个鳄鱼夹依颜色焊在锂电池盒的另外两根引线上。

把锂电池盒放进S2000电池仓里面去，红色的鳄鱼夹夹在S2000电池仓的正极处，黑色的鳄鱼夹夹在S2000电池仓的负极弹簧上，并装好锂电池，盖好S2000电池仓的盖板。千万小心，不要让正负极碰到一起短路了，即使是瞬间的短路，也会引起危险，因为锂电池的放电电流很大，严重的话会引起电池爆炸。

最后是要对S2000使用锂电池进行设置。大家知道S2000的不少功能是用软件来设置的，通过设置S2000的系统码，来调整S2000的性能，以适应不同使用的要求。如若使用普通电池，就要设置系统码为29，如使用充电电池则设置系统码为28，设置的方法在S2000收音机的使用说明书中有详细介绍。若使用锂电池又要把系统码设置为多少呢？记得在2008年底德生梁总给我们演示时介绍，S2000若使用锂电池，就要把系统码设置为“30”才行，而且设置的方法比较独特，与设置其他的系统码不一样，且S2000收音机的使用说明书中也没有介绍。

所需材料

元件	数量	金额（元）
18650锂电池	2节	29
单电池盒	2个	4
鳄鱼夹	2个	2

S2000设置为使用锂电池的方法是：在关机状态下，同时按下面板左下的【DELETE】键和面板右下的【VM/VF】键（见图3），这时候S2000的屏幕就会显示30，放开【DELETE】键和【VM/VF】键，设置就完成了。

由于锂电池内阻小，放电电流大，比较适合收听音乐节目，在收听语言广播的时候，主观感觉与使用充电电池收听没有什么变化。

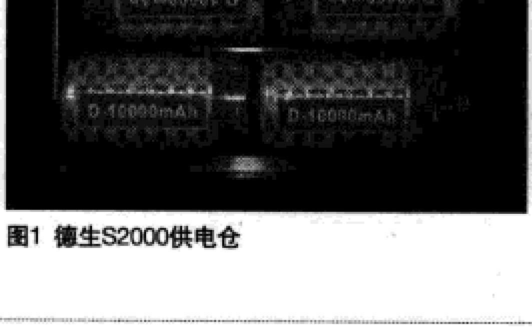


图1 德生S2000供电仓

图2 锂电池盒与鳄鱼夹

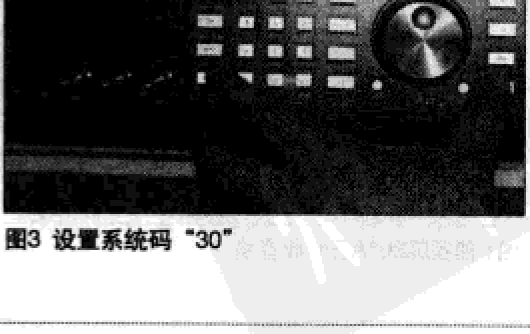


图3 设置系统码“30”

收藏与鉴赏

◇陈汉燕　徐蜀

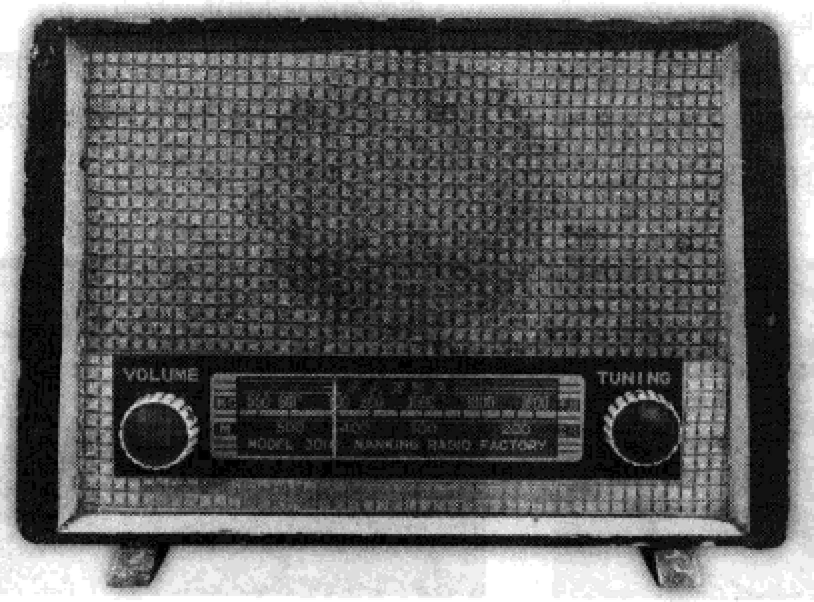
熊猫301A三灯收音机史话

南京无线电厂的历史可以上溯到1936年，是中国最早的公营无线电厂。1946年8月，被当时的国民政府命名为资源委员会中央无线电器材有限公司南京厂，1948年开始用进口的美国套件组装Philco和RCA品牌的五灯收音机。建国后更名为南京无线电厂，是当时全国规模最大、技术力量最雄厚的无线电厂。1952年，该厂利用剩余美国RCA元件加上部分国产件，生产出红星牌501型电子管五灯收音机。次年又推出了第一台全国产化的红星牌502型五灯收音机。此后的南京无线电厂一发不可收拾，收音机新产品如潮水般涌向市场。截至1958年，先后上市了红星牌503、504（出口型号为熊猫551等）、505，熊猫牌506、507、508，601、607、609（直流机）等系列五灯、六灯收音机数十种，特级机1401、1501也已基本成型。可以看出，南京无线电厂在收音机研制上的特点是起点高，速度快，这是国内其他任何一家无线电厂不可企及的。

但1958年下半年，南京无线电厂却遇到了一点麻烦，从熊猫牌301A三灯收音机的推出及当时报刊上透露出的些许信息，便可看出其中的端倪。熊猫301A，如图1所示，大约于1959年初面市，令人不解的是，南京无线电厂、上海广播器材厂和北京无线电厂，那一时期都在如火如荼地赶制国庆十周年的收音机献礼产品，而且大多是档次较高的精品，如上海广播器材厂的131、132、133和532，北京无线电厂的牡丹711、911，南京无线电厂的1401、1501等。但此时为何要风风火火地造出一台普及型三灯收音机？要知道，这是南京无线电厂历史上唯一的一台五管以下的电子管收音机，见图2。原来，301A是南京无线电厂为了“应景”而做的一个产品。

1958年，我国收音机制造业发生了两件大事，一是制定了电子管收音机的等级标准，二是11月份国家电子工业主管部门举办了第一次全国收音机观摩评比会，参加展出和评比的收音机制造厂有20多家，参评收音机达到70多种。但是，收音机行业的龙头老大南京无线电厂却没有参加此次活动。在计划经济时期，身为当时最大的一家国营无线电厂，居然缺席了如此重要的活动，原因何在？《无线电》杂志1959年1期对此作出了一个解释，“这次评比中，南京无线电厂的熊猫牌和红星牌收音机因运到时间过晚没有参加评比。”

原来，观摩评比会结束后，有关方面负责人发表了一篇总结性的讲话，对政府的相关精神做了阐述：“我国的无线电工业必须生产一批现代化的具有优良电器、电声性能的高级收音机，以供俱乐部、文化宫等公共场所集体收听，以及满足出口等方面的需要。但高级收音机的生产从国



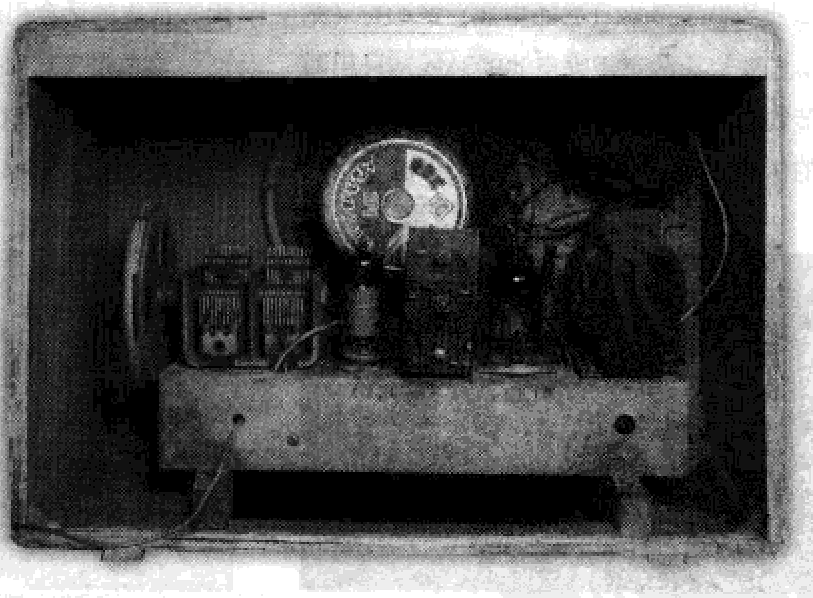


图1 熊猫牌301A三灯收音机

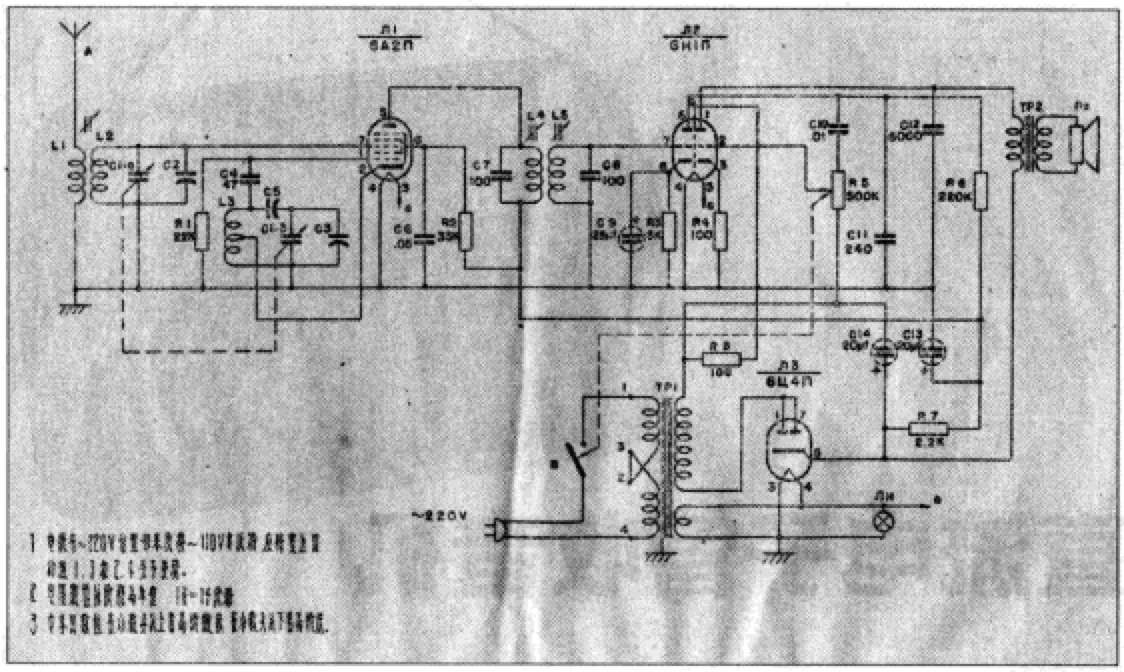


图2 熊猫牌301A三灯收音机电路图（扫描图）

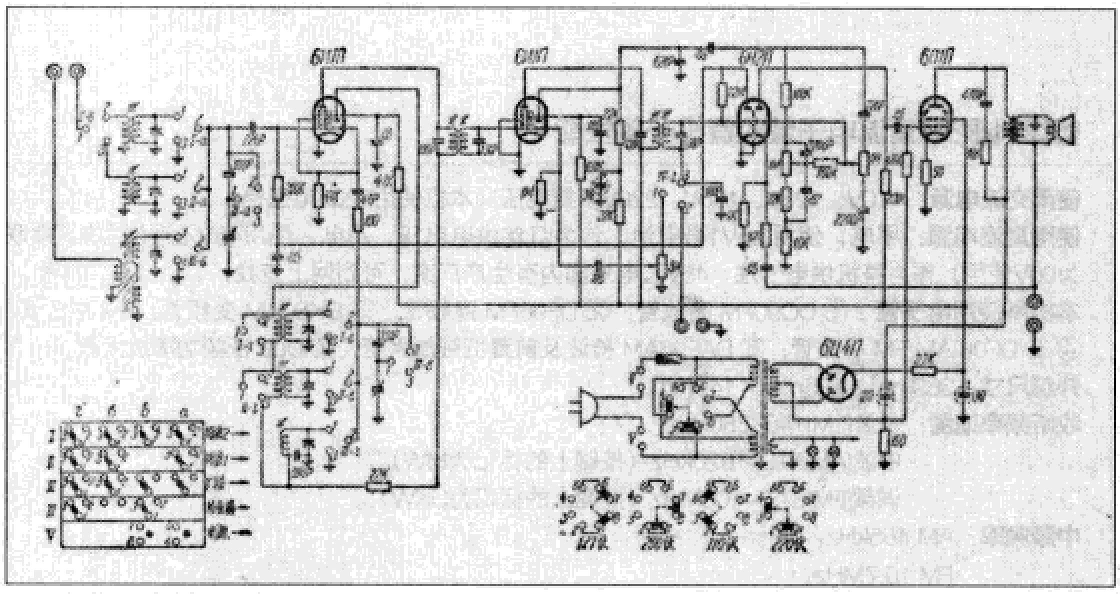


图3 熊猫507电路图（扫描图）

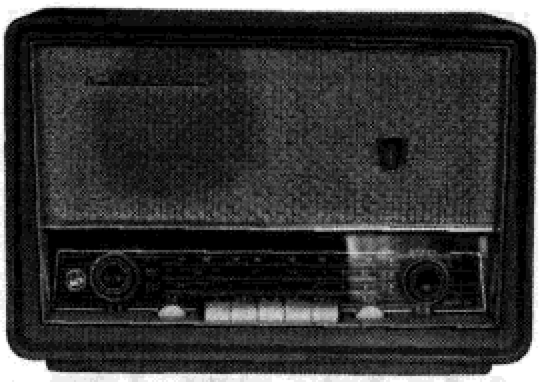


图4 熊猫607牌收音机

内外的需要来说，只能占较小的比重。从全国范围看来，无疑应该把制造普及式收音机列为首要的任务，制造收音机的无线电工厂应该把最大的精力放在改进普及式收音机的制造上去。”（《无线电》1959年1期）。显然，南京无线电厂收音机制造一贯的高端路线不符合上述精神。该负责人甚至直截了当地批评道：“值得注意和防止的是这样的一种倾向，即有一些工厂的设计人员把改进普及收音机的生产和掌握尖端技术对立起来。他们较少地去注意如何采用先进的线路和工艺，从改进普及收音机的生产上去攀登无线电科学技术的高峰，使尖端技术为多快好省地发展人民广播事业服务，而花了过多的力量去设计售价较贵的高级收音机，或在一般收音机上设法增加一些不完全必要的附加设备（如在三级收音机上增加调谐指示器、琴键式波段开关等），结果是提高了收音机的售价，不利于广播宣传的普及工作。”很明显，批评的正是南京无线电厂，因为当时只有南京无线电厂“在三级收音机上增加调谐指示器、琴键式波段开关等”。

检视南京无线电厂1958年的产品目录可以发现，在众多的新产品中，熊猫牌507、607型收音机格外引人注目。507是一款五灯收音机，但其电路之复杂，功能之齐全，元件使用之奢华，令人吃惊（见图3）。507用了3只复合式电子管，而且有两只是当时最新式的6U1，琴键式波段开关，独立调谐的高低音控制。这些装备，即使131、132等1级收音机也望尘莫及。607是在507基础上加装了6E1电眼管成为六灯机（见图4）。

现在我们分析，也许南京无线电厂在观摩评比会前夕得知了上级精神，尽力赶制了一台普及型的三灯收音机，就是这台301A，与其他收音机一起参展来应对评比。但终因时间过于仓促，展品未能按时送到。

熊猫301A虽然是一款普及型收音机，但依然秉承了南京无线电厂一丝不苟的精神。该机采用简易超外差式电路，以6A2担任变频，6N1左边三极管负责检波，右边三极管担任功率放大，6Z4担任半波整流。相比20世纪50年代多数三灯普及型收音机采用的直放电路，301A具有更好的灵敏度和选择性，调谐起来也较为方便，是一款物美价廉的大众收音机，而且整机结构紧凑小巧（295mm×225mm×140mm），造型典雅朴实，与熊猫品牌的其他收音机保持了设计风格上的一致性。

熊猫301A是南京无线电厂唯一一种普及型电子管收音机，由于当年产量很少，至今保存下来的已如凤毛麟角，加上特定时期的那段历史，因此具有很高的收藏价值。

拯救有收藏价值的收音机

◇赵春云（BA3DX）

德律风根(Kavalier)交-直流电子管收音机维修全过程

德律风根交-直流电子管收音机是德国20世纪50年代末的产品，使用电池时可以外出携带，由于外观设计独特，号称皮包式收音机，是很有收藏价值的收音机之一。它的外观实物如题图所示，内部实物如图1所示。

德律风根交-直流电子管收音机由于年代已久，加上运输当中的颠簸，淘到手的收音机从外观上看，度盘中框已经弯曲折断，如图2所示。通电试听，交流声严重，中波只能收听到本地强信号电台，调频收不到电台信号。

修复此款收音机，就需要对此收音机做一番外观的复原和机芯电路的修复及调整。（关于外壳的卫生清理，前几期已经介绍过，不再重复。）

机芯的拆卸

德律风根交-直流电子管收音机的机芯是由5个螺丝固定的，在拆卸时发现所有固定支柱都有松动或脱落，如图3所示，固定支柱内部脱落的螺钉，如图4所示。

拆下来的机芯正面图，如图5所示。

德律风根交-直流电子管收音机一般性能

使用交流电源： 110V、125V、150V、220V多挡电压（本机使用220V电压挡）。
使用直流电源： 甲电，使用1.5V1号电池，作为灯丝供电电压。乙电，使用45V乙电池2块（串联为90V使用）作为整机供电（注：45V乙电池国内有生产厂家，可到网上查找）。
本机所使用电子管： ① DC90FM 高放管，② DF96FM 混频管，③ DK96AM 变频管、FM 中放管，④ ⑤ DF96 AM/FM 中放管，⑥ DAF96AM 检波及前置低频放大管，⑦ DL9 低频功率放大管。
外观尺寸： 360mm × 235mm × 140mm。
收听频率范围： 长波(LM)145~380kHz，
中波(AM)515~1620kHz（按键上的标记为MW），
调频(FM)87.5~100MHz（按键上的标记为UKW）。
中频频率： AM 465kHz，
FM 10.7MHz。

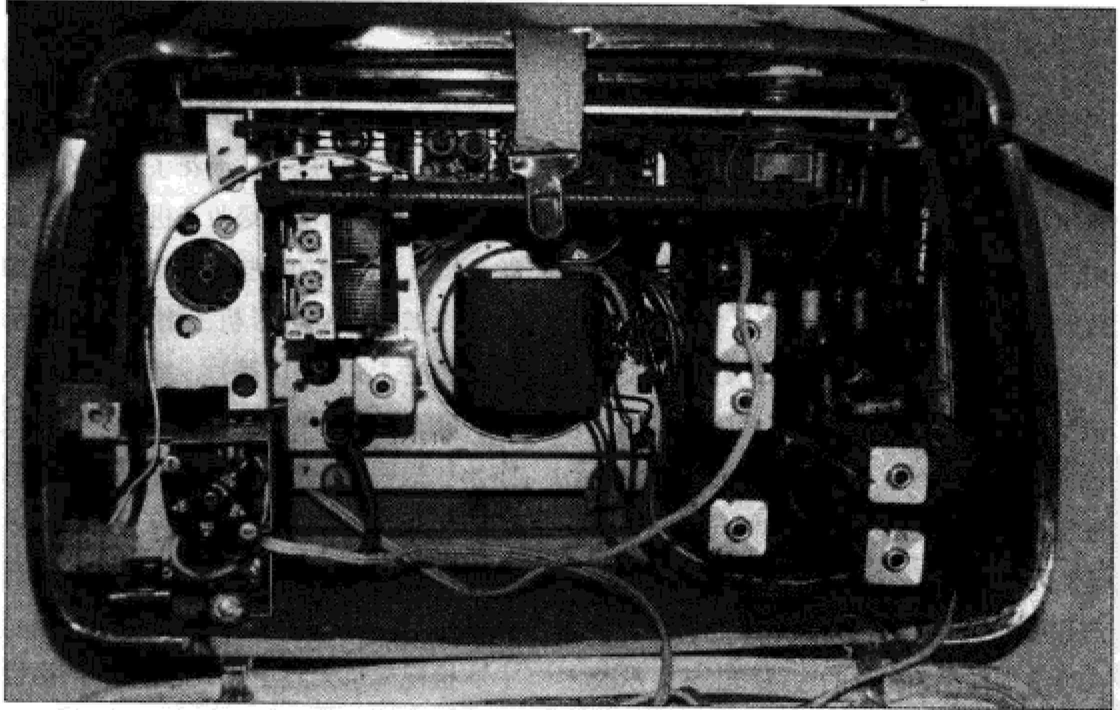


图1 内部实物

图2 度盘中框已经弯曲折断

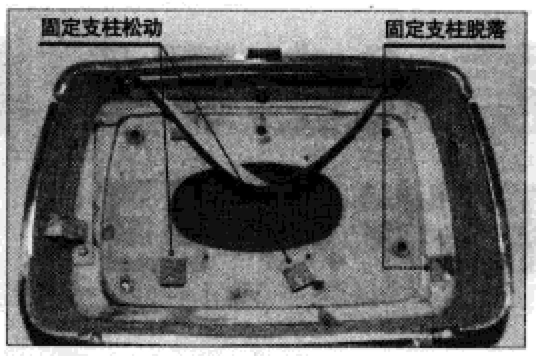


图3 固定支柱都有松动或脱落

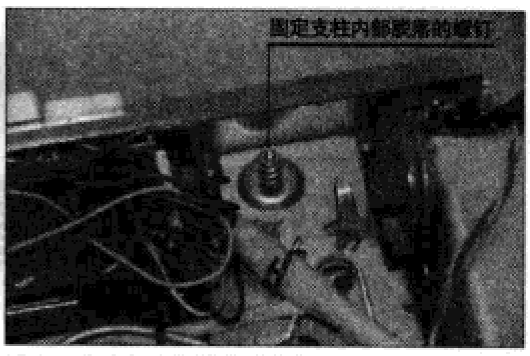


图4 固定支柱内部脱落的螺钉

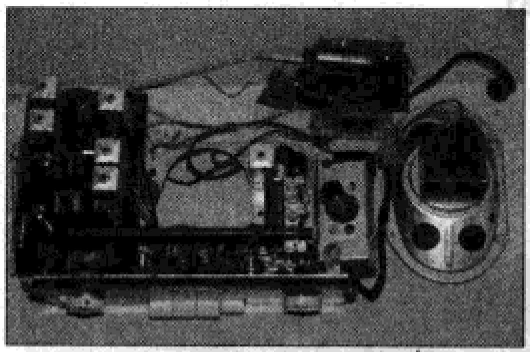


图5 机芯正面图

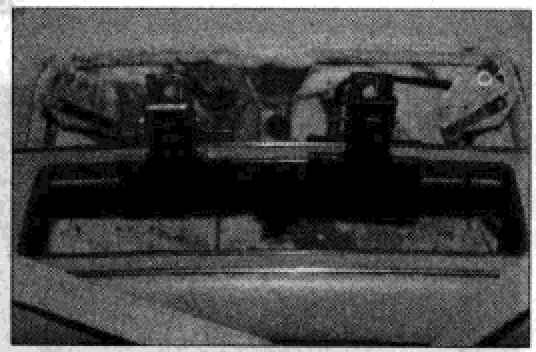


图6 粘固好断裂的塑料中框

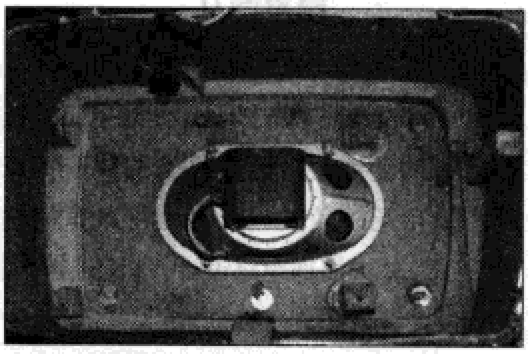


图7 将扬声器固定到原始的位置上

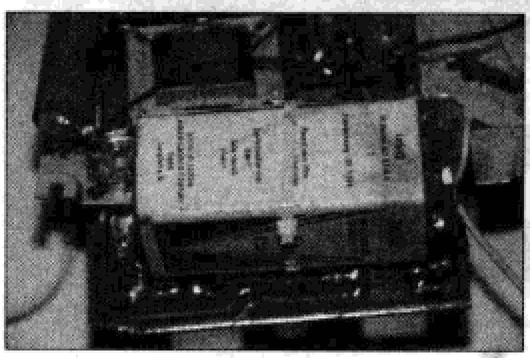


图8 电池按照原始的位置固定牢

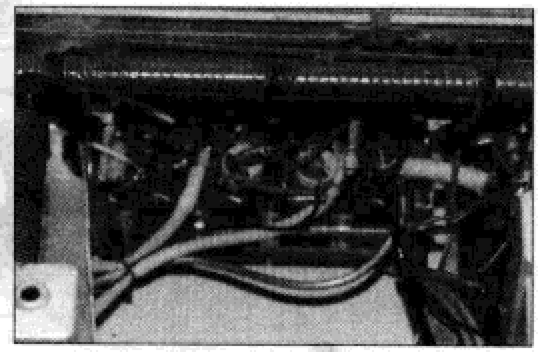


图9 加绕8圈后的线圈

机壳的修复

1. 按照使用说明，将A/B胶搅拌均匀后把5个木质固定支柱粘牢，凝固。

2. 度盘中框用小型台钳把弯曲变形处调整平直，然后用A/B胶粘固好断裂的塑料中框，如图6所示。

3. 机壳内的固定支柱粘固后，再将扬声器固定到原始的位置上，如图 7 所示。

机芯的维修及调试

1. 由于年代已久，原机的B1（D3，5）1.35V甲电，供给电子管灯丝电压的电池已经脱落，需要把电池按照原始的位置固定牢，如图8所示。

在用220V交流电源试机之前，一定要参考电源电路。把原机的电池连接好，绝对不可开路，否则灯丝电压会上升到22V左右，严重时会烧断电子管的灯丝，切记！

2. 接通电源，按下MW（中波）按键，将音量开到适中的位置，调节选台钮（SENDER），调谐电台，发现从低端550kHz到高端1600kHz之间，只能在1000kHz左右收到强力电台的声音，而且声音不大，当手接近磁棒天线时，扬声器声音明显增大。经过对整个电路的检查，并没有发现有不良的元件，根据经验判定，可能是磁棒年代已久，略有退磁，致使导磁率降低，从而造成中波频点不谐振。为了不损坏收音机原貌，没有更换新的磁棒，修复的方法是在原来磁棒线圈的位置上，用相同线径的裸铜线上锡后，加绕8圈，如图9所示。

最后用无感改锥旋转中波振荡线圈的磁芯，进行“跟中调整”（关于收音机的简单统调前几期已经做过介绍，这里就不再重复了），经过重新调整后的收音机，基本达到了当年的收音机一般性能的标准，中波修复完毕。

3. 接通电源，按下UKW（调频）按键，将音量开到适中的位置，调节选台钮（SENDER），调谐电台，从87.5MHz到100MHz之间收不到任何调频电台的声音。进一步检查调频高放管DC90和混频管DF96，发现高放管DC90引脚与管座之间有轻微的氧化层，用手拨动高放管DC90时偶尔可以收听到调频电台的声音，最后将引脚与管座之间的氧化层去污清理后，调频段的收音恢复正常。

按照以上步骤复原、维修、调整后，一台完美的德律风根交-直流电子管收音机又恢复到了20世纪50年代的容貌，如题图所示。

■ 此款收音机的电路原理图请到本刊网站www.radio.com.cn下载。

普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月 上

◇田浩

背景简介

20世纪50—60年代的某些国产普及型电子管收音机集中体现了无线电工业技术人员的创造力，这些机型的普遍特点是：采用超外差式电路，通常只有中波段，在总体或局部电路设计、机芯结构或外观设计等方面具有独创性。

为简便起见，在本文中将这些普及型超外差式电子管收音机统一简称为“四三机”。原因在于：

1. 按照当时的国产收音机分级标准，这些机型多属于四级机，有一部分属于三级机；

2. 这些机型大多为4灯机，也有一部分是3灯机；

3. 如果将这些机型统称为“中波机”或“大众机”，则不仅容易和前期国产的多款再生式中波电子管收音机混淆，也难以和后来的许多普及型中波晶体管收音机区分开。从更广泛的视角来看，这些机型和同期日本、美国生产的普及机型也有着明显区别。

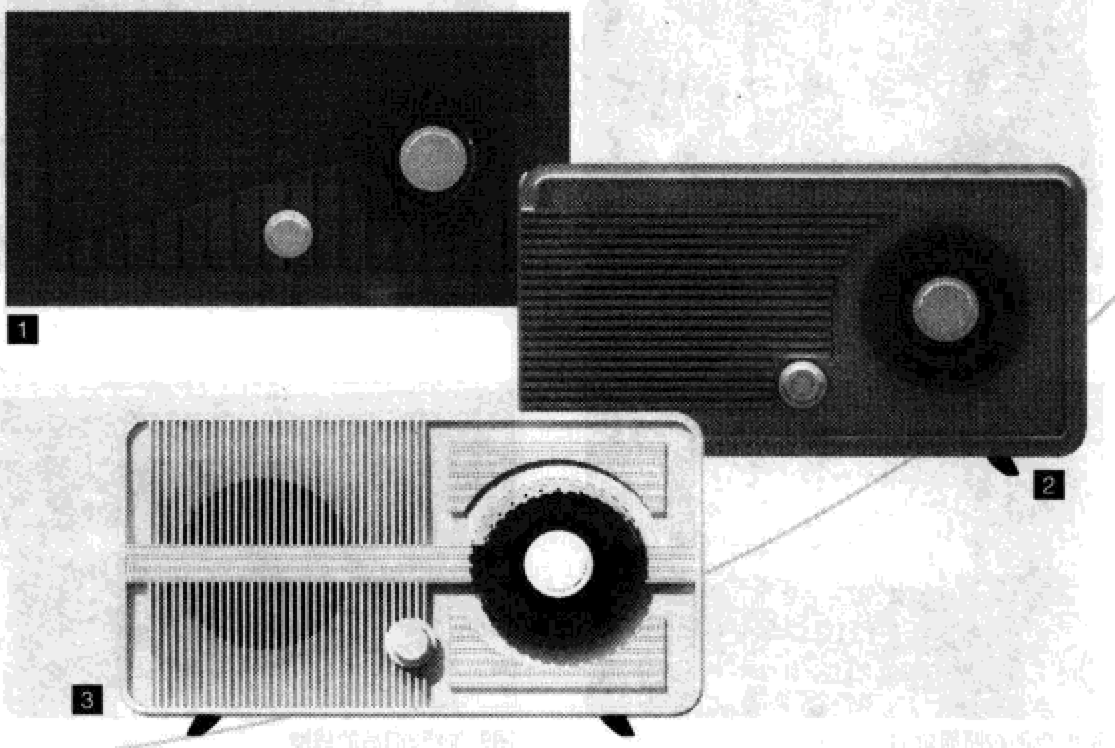
“四三机”的繁荣，与当时中国亟待大规模普及广播，需要向广大群众提供物美价廉的收音机这一时代背景密切相关。可以用“天时、地利、人和”这三个词概括“四三机”兴盛的背景。首先，在历经数十年的战争环境后，中国大陆地区终于在中国共产党的领导下，进入和平建设时期，无论是党和政府政策宣传的需要，还是广大民众对美好生活的期盼，都能有力地促进像“四三机”这种价廉物美的收音机的普及。其次，电子管技术发展到20世纪50年代后期，已经相当成熟，为技术人员在设计过程中充分发挥创造力提供了良好基础。这些因素的综合，使得“四三机”在中国拥有了一段新品迭出、精彩纷呈的岁月。

为了更好地理解前述背景，我们不妨来看一组数据：60年代中前期，像长城639-1和宝石441这样的“四三机”，在国内的售价为60元左右，约占同期城镇职工人均月工资的140%～150%，而同期普及型5灯机的售价往往在90元左右，带有调谐指示管的6灯机（如牡丹6204C和美多66A）价格则可达120 ~150元，也就是说，5灯机和6灯机的售价占当时职工人均月工资的比例分别达到了约200%和300%。考虑当时的月均收入往往绝大部分用于基本生活保障，超过200%的额外支出是一笔庞大的款项，我们即可体会到“四三机”在民众中普及的意义。

本文强调“四三机”的“精彩”，重点在于这些机型所体现出的独创性。相比而言，同期的国产5灯机和6灯机在电路和造型方面大多千篇一律。和同期日本、美国的普及型收音机相比，中国的“四三机”即使不能称为独领风骚，至少也有着自身的鲜明特色。在20世纪50年代末到60年代中期这段“四三机”的黄金时代，武汉、南京、北京、天津、上海、广州等地的不同无线电厂先后推出了多款个性鲜明的“四三机”。

在本文中，将对10款“四三机”进行介绍，这些机型是：卫星31、东湖41、熊猫301A、凤凰4201A、凤凰4202A、红叶、海河432、长城639、宝石441B和美多65A。

卫星31



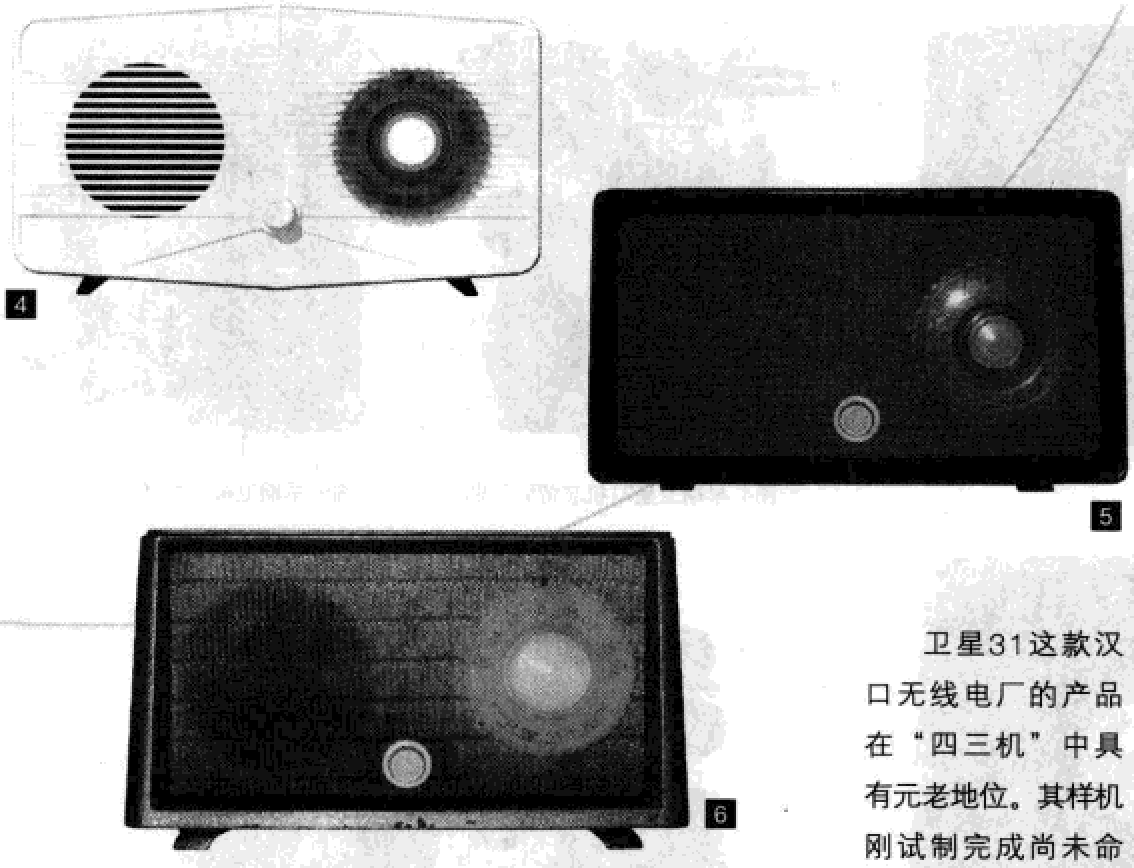


图1 卫星31的6种机壳

卫星31这款汉口无线电厂的产品在“四三机”中具有元老地位。其样机刚试制完成尚未命名时，即已在1958年第2期《无线电技术》上刊登了对整机线路和机芯布局的简明介绍，并由同年第6期《无线电》杂志转载了这一消息。此机的试制完成被评价为“普及式收音机的生产通过汉口无线电厂的努力，可以说有了一个良好的开端”。随后，人民邮电出版社1958年出版的《国产收音机（第一集）》、1959年第1期《无线电》杂志和上海科学技术出版社1959年开始刊印的《国产广播收音机手册》对此机都有详细介绍。无论从卫星31设计完成和开始投入生产的时间，还是从这一机型的普及程度和设计特点来看，将其称之为“四三机”的元老都是不为过的。

卫星31的机壳有多种造型，如图1所示。在这里列出的6种机型之中，仅有最后两种造型的卫星31机普及较广，前面4种往往只出现在介绍卫星31的书刊中。将这些机型加以比较，很容易看出前4种造型的卫星31之所以少见，是因为它们的外壳制造工艺比较复杂，生产成本更高，这就和“四三机”低成本的初衷并不相符。这4种造型的卫星31不仅因存世数量少而值得收藏，更因为它们展现了中国工业设计在独立迈出最初几步时的面貌而弥足珍贵。

从图中可见，这些卫星31的外观风格多为水平或垂直的平行线条组合。需要特别指出的是，图1中1的卫星31机的外观即为1958年《无线电》杂志上提到的

表1

项目	参数	项目	参数
总功率	26.5W	扬声器口径	124mm
输入电压	220V	电子管：6A2 变频 6N2 检波、音频放大 6P1 功率放大 6Z4 整流	
额定输出功率	0.5W		
中波频率覆盖	545 ~ 1650 kHz		

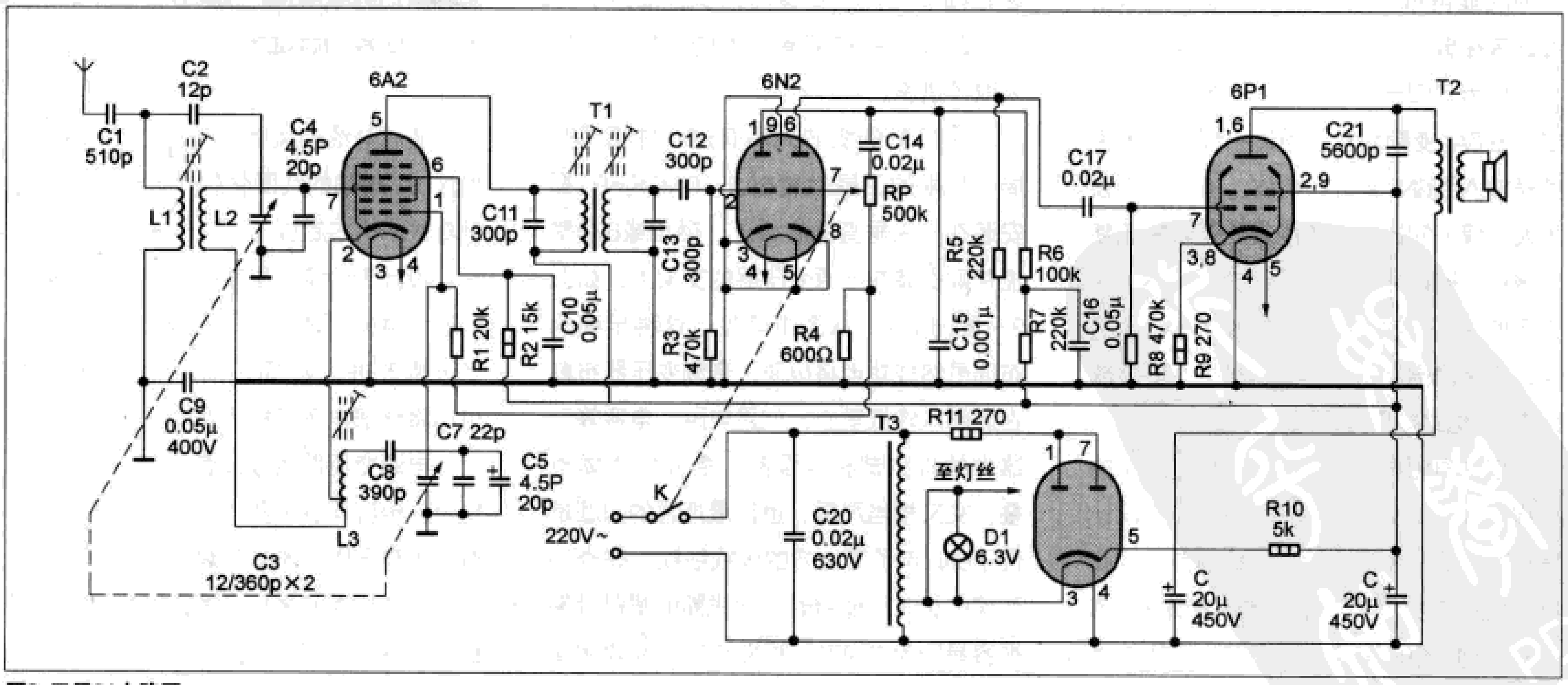


图2 卫星31电路图

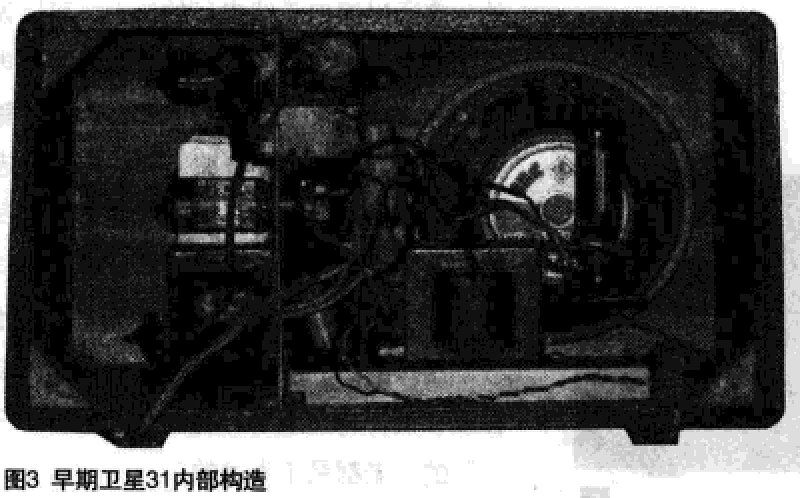


图3 早期卫星31内部构造

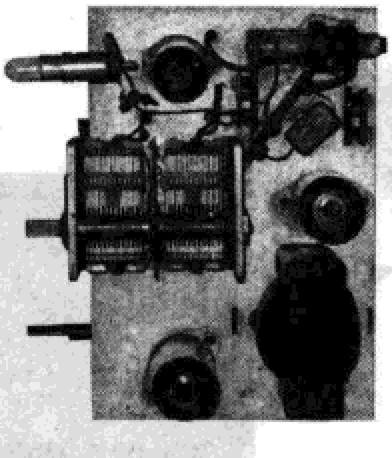


图4 早期卫星31机芯背面早期

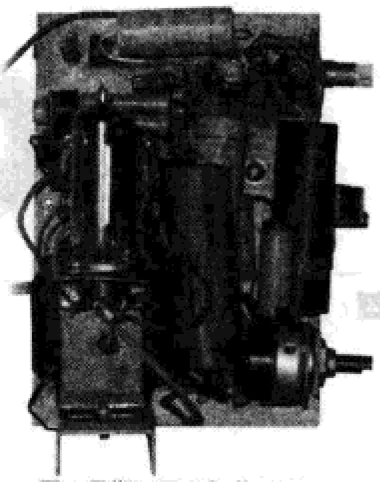


图5 早期卫星31机芯正面

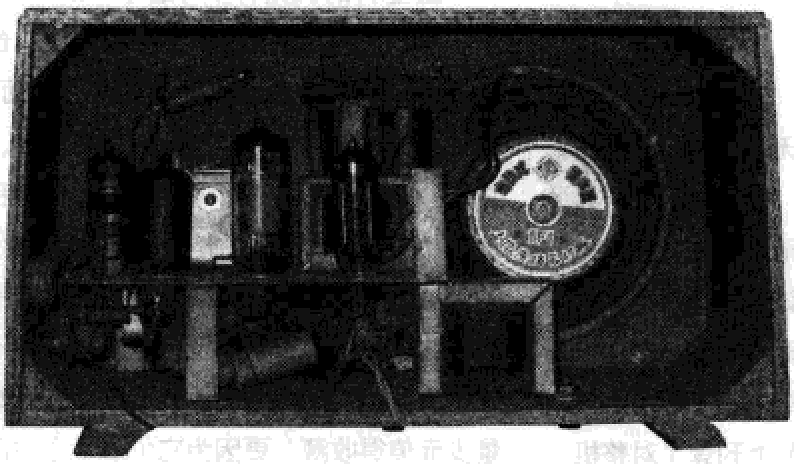


图6 后期卫星31内部构造

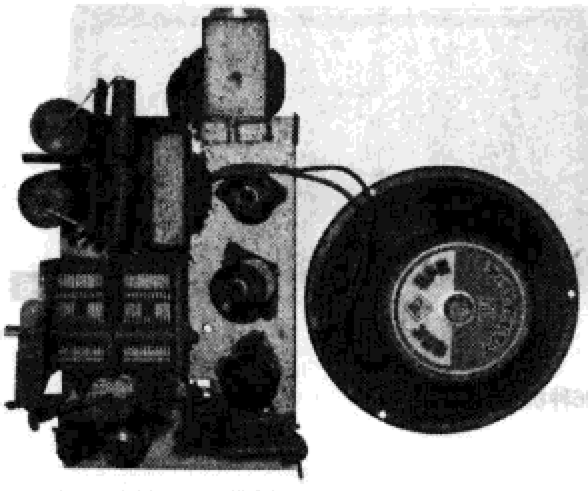


图7 后期卫星31机芯背面

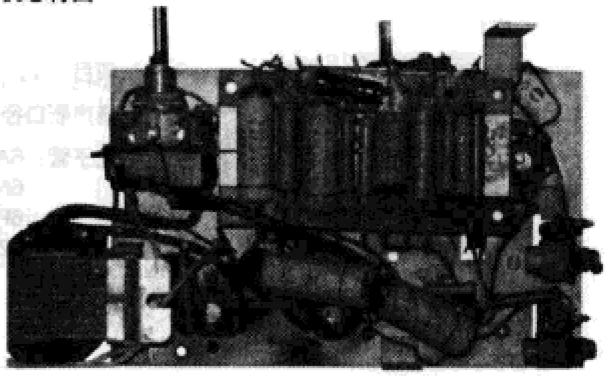


图8 后期卫星31机芯正面

“式样美观大方，面板上还象征着武汉长江大桥”造型，设计者用倾斜上升的直线边缘和17条与其相交的垂直凹槽试图表达出这种象征意义。我们无意给予这些造型的卫星31机过高赞誉，然而，正是这些外观显得稚气的卫星31为我们揭示出设计者在事业开创之初的探索过程。

作为“四三机”开创之初的机型，卫星31在6A2变频后直接通过中频变压器将信号输入到6N2管进行检波，省去了中频放大。我们知道，中放的省略是以降低整机增益，即损失灵敏度为代价的。不过这个遗憾对于一款主要用来接收本地电台的收音机来说倒无伤大雅。此机的主要参数见表1，电路如图2所示。

仅从电源电路中为节省材料而采用的自耦变压器，就可以看出卫星31的设计者将追求低成本放在设计目标的首位。此机的机芯底板用料非常节省，将图3～图8与下文介绍的其他“四三机”相比较，就可以看出这一点。值得一提的是，在部分卫星31中我们可以看到原配的6N2管表面涂了一层石墨用于屏蔽，并且，考虑到此管灯丝与阴极之间有可能漏电导致交流声，其音频放大部分的栅极偏压系由本机振荡栅漏电阻上取出分压提供。从这些细节可知，在保障此机性能方面，此机的设计者在节省成本的前提下尽量采取了措施。

卫星31的机芯先后有过两种不同布局。早期的卫星31将6A2、6N2和6P1都安装在一块垂直的底板上，硒堆或6Z4整流管则安装在电源变压器的支架上，如图3～图5所示。从图中可见，这种早期的布局虽然成功地将电源、音频变压器布置在底部以降低重心，但是电阻、电容等元器件的排列却相当混乱，各元件立体重叠、交叉相当严重。也许最严重的问题是位于6N2电子管上方的天线线圈，在炎热环境中长时间使用时，此线圈的塑料骨架很容易因为6N2电子管发热炙烤而软化变形。作为此种布局不合理的一个实证，在本文随后介绍的凤凰4202A上，我们将见到被6K4烤融的线圈骨架，该机也是采用垂直式的机芯底板。

设计者注意到早期机芯底板上存在的问题，并对后期卫星31的机芯布局进行了大幅改进，如图6～图8所示，新式的机芯将全部电子管排列在同一块水平底板上，电源变压器兼做该底板的固定支脚，电阻、电容均以更整齐的方式焊装，不再有置于电子管上方受炙烤的塑料部件。并且机芯与机壳间采用了螺栓固定，与早期机芯嵌装在机壳内木条中的安装方式相比，有着更高的可靠性。

本文虽然指出卫星31有如上所述的诸多特点，但并非要给予此机过高的评价。公平地看，卫星31虽可确认为“四三机”中的元老，但并没有处于“四三机”开山鼻祖的地位。在20世纪50年代中期，上海广播器材厂已生产出142型超外差式4灯机，采用旧式八脚管，其电路也是无中放模式。差不多在同一时期，上海南益电器厂也生产出一款无具体型号的4灯机，所用电子管和卫星31一样，而且中、短波均具备。这些机型之所以未被列为“四三机”的元老，是因为它们在“普及”这一项根本目标上未能取得满意的成果。

当然，卫星31的普及也未达到使其有极大存世量、随处可见的地步，与留存至今的同期大量普通5灯、6灯机型相比，当前存世的“四三机”一般来说都是少见而珍贵的。读者可以在阅读下文时思考其中的缘由，本文结束时将对此予以详细讨论。

东湖41

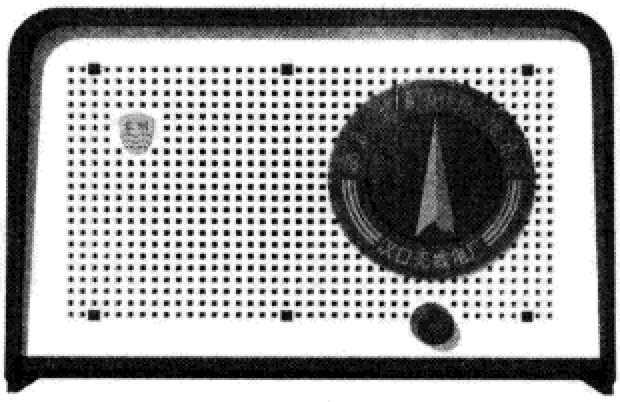


图9 东湖41型收音机

表2

项目	参数	项目	参数
总功率	40W	扬声器口径	124mm
输入电压	220V	电子管：6A2 变频 6G2 检波、音频放大 6P14 功率放大 6Z4 整流	
额定输出功率	0.5W		
中波频率覆盖	535 ~ 1650 kHz		

与卫星31相比，东湖41在外观和技术两方面都更加成熟。东湖41型的外观如图9所示，在棕黑色的机壳前部嵌有乳白色方孔面板，音量和调谐旋钮均在前部右侧，通过伸入调谐旋钮内的灯泡提供刻度盘照明。后来还有一种东湖41A型，系将前面板改为水平刻度盘，增加了拉线调谐系统，机芯结构亦作相应改动。不过，虽然后者增加了调谐行程可供使用者更方便地寻找电台，一般还是认为东湖41的非对称式面板造型看起来更为有趣。

与卫星31相比，此机在技术上的创新主要在于：采用了在“四三机”中少见的6P14功放管。设计者选用此五极管的初衷，见图14，是在前级推动功率较小的情形下，依靠6P14更强的放大能力来取得足够的输出功率。此外，值得一提的是东湖41的后盖板上安装了与盖板一体化的220V供电插座和机芯上的插头连接，后盖板取下时，该插座也被一同取下，从而避免了使用者因触碰机内金属件而触电的危险。

东湖41的主要遗憾在于普及程度不高。尽管与后文即将提到的罕见机型熊猫301A相比，此机还可以在生活中偶尔见到，但是其普及的程度比卫星31明显要低，这可能是因为其成本高于卫星31导致的。无论如何，就独创性而言，在“四三机”中东湖41可算是杰出者。

下一期的文章中笔者将为大家带来熊猫301A、凤凰4201A、凤凰4202A、红叶四款收音机的介绍，欢迎大家继续阅读。

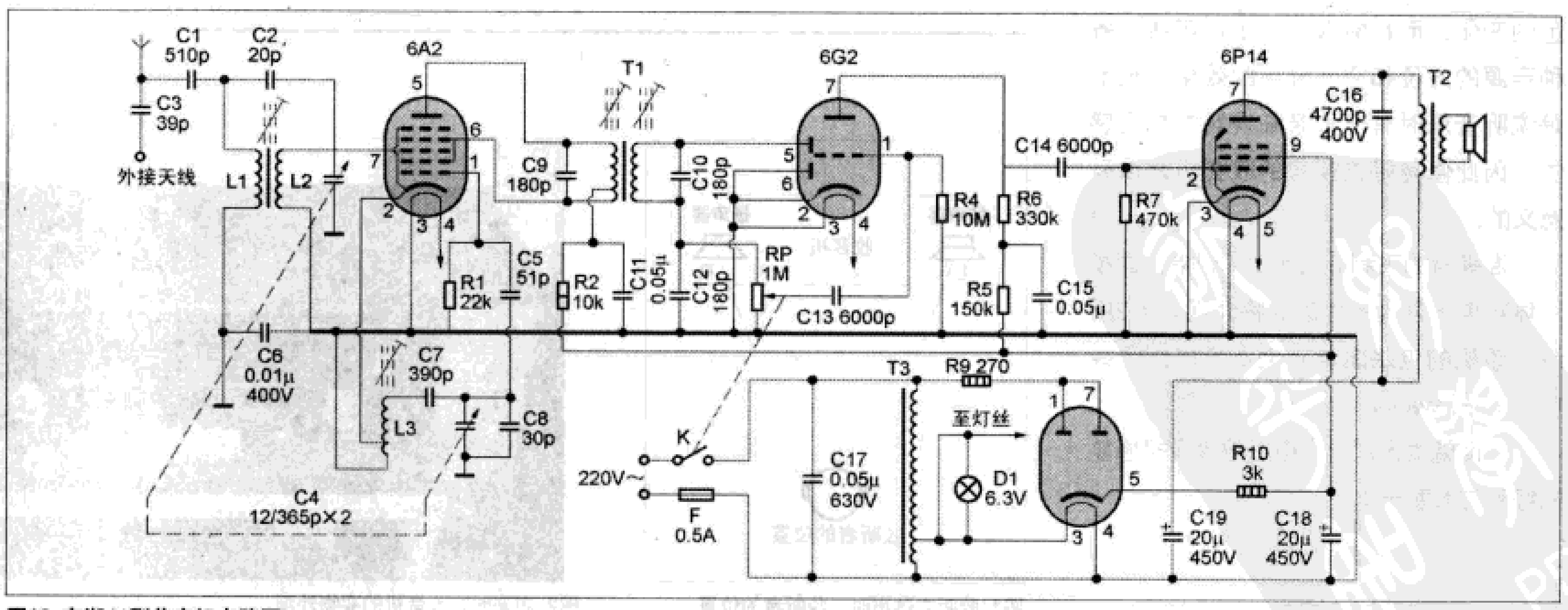


图10 东湖41型收音机电路图

拯救有收藏价值的收音机

◇赵春云（BA3DX）

飞利浦电子管收音机维修全过程

飞利浦B7X43A 调幅、调频立体声电子管收音机是德国20世纪60年代初期的产品，该收音机属于高档级别，是很有收藏价值的。如果维修调试技术参数准确，单从音质、音色的角度讲（本机具有回音功能），飞利浦B7X43A调幅、调频立体声电子管收音机在收听调频立体声广播电台时（把自己的头部距离收音机1m左右的位置上，并且头部对准收音机的中间部位，如图1所示）不仅能反映出左右声道的强度、音调和音色的变化，而且能够分辨出扬声器中各种声源的方位和空间分布的效果，也就是说听音乐时有一种亲临现场的真实感觉，因此修复好该型号的收音机是很有意义的。

淘来时的飞利浦B7X43A 调幅、调频立体声电子管收音机的实物外观如图2所示，该机的电路图读者朋友可以到无线电的网站www.radio.com.cn上下载。

下面就本人对此台电子管收音机修复的经验与大家分享。

飞利浦B7X43A 调幅、调频立体声电子管收音机一般性能

使用交流电源： 110V、127V、145V、165V、220V、240V各挡电压（本机使用220V电压挡）

电子管的作用： ①（RO1）ECC85 FM高放管/FM混频管，②（RO2）ECH81 AM变频管、FM中放管，③（RO3）EF89 AM/FM中放管，④（RO4）EBF89 AM检波/FM中放管，⑤（RO5）EAA91 FM鉴频器管，⑥（RO6）ECC83低频前置放大管，⑦（RO7，RO8）EL84低频功率放大管，⑧（RO9）EZ81电源整流管，⑨（EM80）调谐指示管，⑩FM立体声解码由晶体管电路组成

收听频率范围： FM-UKW调频87.5~104MHz
AM-KW短波5.95~18.2MHz
AM-MW中波515~1620KHz
AM-LW长波150~260KHz

中频频率： FM 10.7MHz
AM 460KHz

外观尺寸： 712 mm×265 mm×292 mm

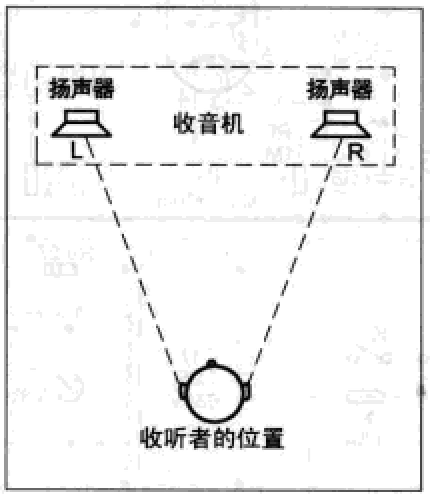


图1 收听立体声时，收听者的位置

图2 淘来时此收音机的实物外观

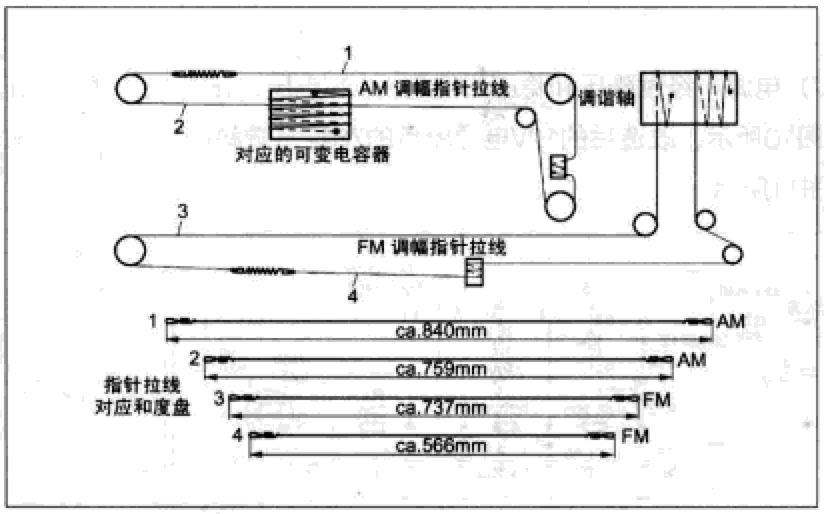


图3 度盘指针拉线断线的挂接

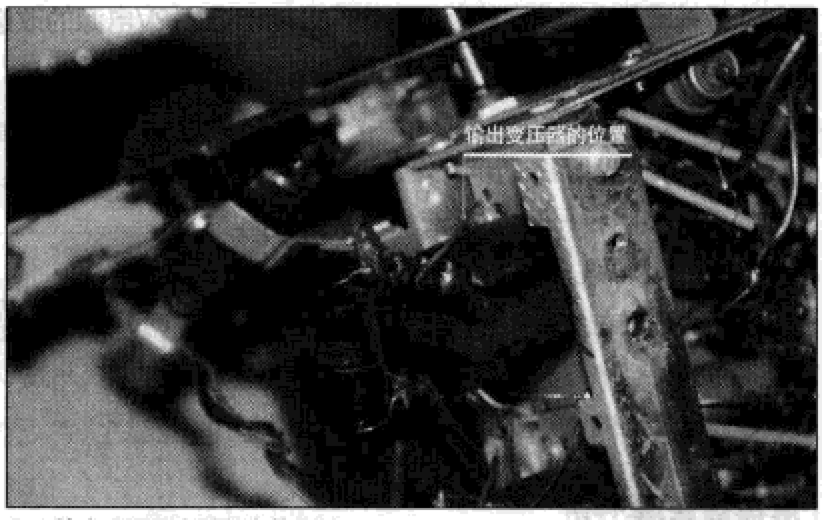


图4 输出变压器在机芯上的位置

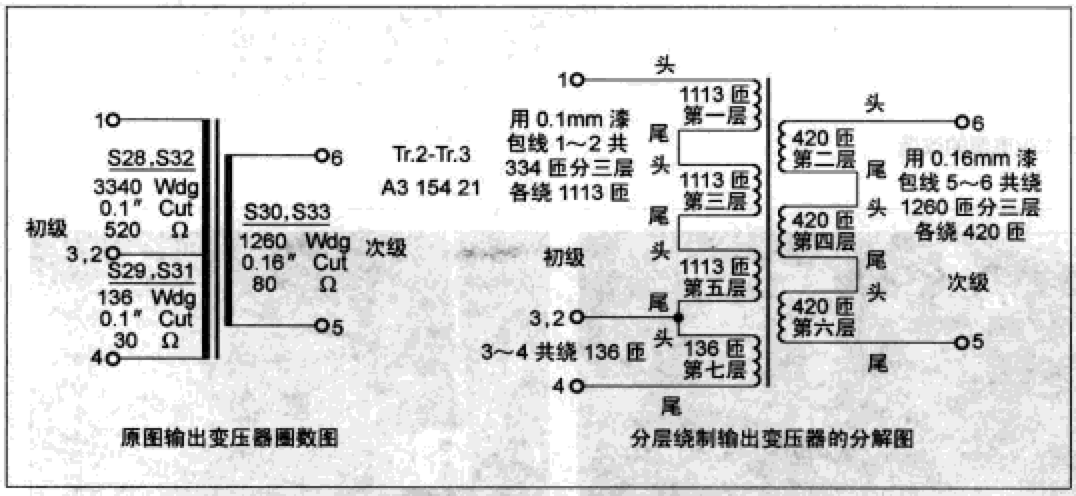


图5 原输出变压器图与分解后绘制的输出变压器的对比

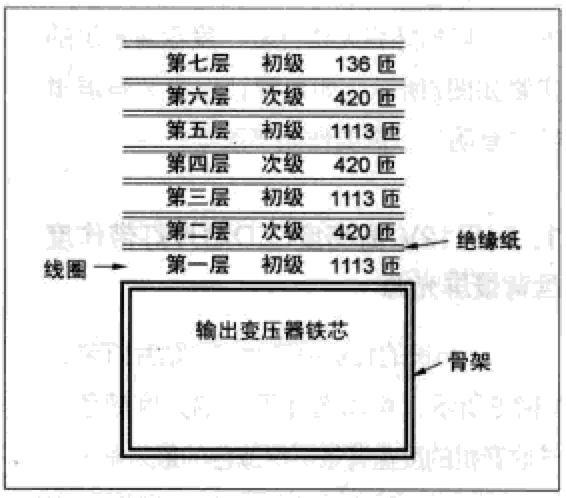


图6 分层绕制输出变压器的断面图

AM、FM度盘指针拉线断线

收音机的度盘指针拉线、断线是常见的故障，不过飞利浦B7X43A 调幅、调频立体声电子管收音机的度盘拉线相对复杂一些，该机调频和调幅度盘指针拉线的转换和调节是用离合法兰盘控制的，当遇到断线时请参照图3所示的示意图进行挂线，便可很轻松地处理好上述问题。

左声道扬声器无声，右声道扬声器正常

引起此故障的可能原因是输出变压器初级绕组（Tr2）断路，使（+1）255V电压不能加到Ro7（EL84）功放管的屏极上，造成扬声器无声，输出变压器Tr2在机芯上的位置如图4所示。

输出变压器Tr2损坏后是很难配上原装变压器的，需要自己动手绕制，由于该机器属于高保真收音机范畴，对输出变压器的绕制有一定要求，从理论上讲，输出变压器上的每一个线圈与铁芯之间都存在着漏电感。另外，每一个线圈和它连接的外部电路都存在着分布电容，这些漏电感和分布电容会造成频率失真，抑制频率失真的方法就是在制作输出变压器时初级线

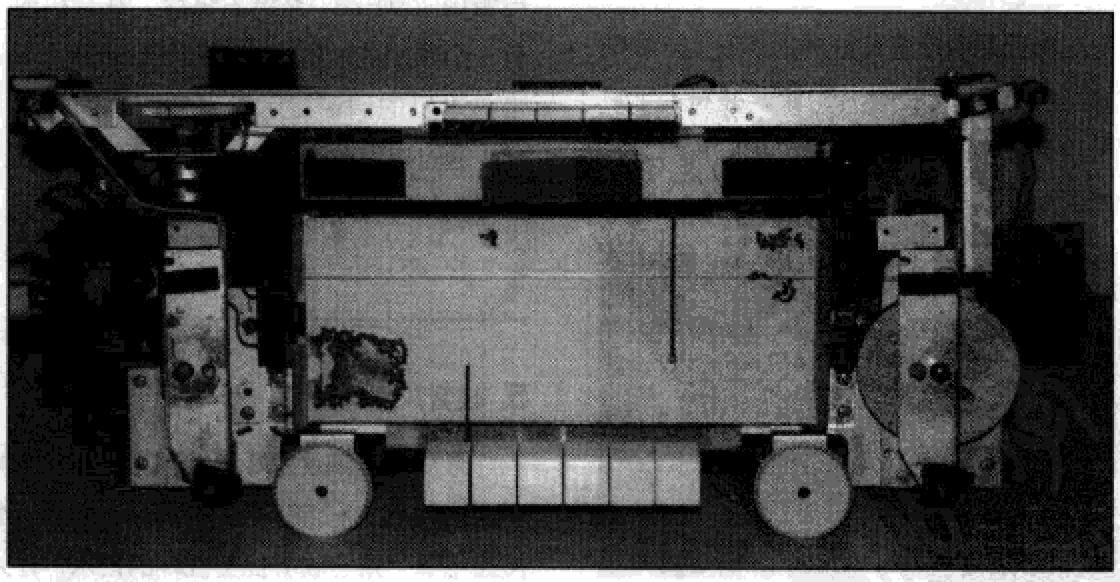


图7 度盘背景屏

圈和次级线圈要进行分层绕制。为使读者更好地理解绕制的方法，原电路图上的输出变压器初、次级圈数图和分层绕制输出变压器的分解图，如图5所示。分层绕制输出变压器的实物断面图，如图6所示。绕制完成后的输出变压器，还需要浸漆、烘干，输出变压器的绕制工作才完成。最后按照原位置装回收音机的机芯上，焊接无误后接通电源试机，声音恢复正常。

度盘背景屏不亮

飞利浦B7X43A 调幅、调频立体声电子管收音机的度盘背景屏的损坏率是很高的，一旦损坏将无法修复，度盘背景屏的实物如图7所示，如果要让度盘背景屏重新“复明”，需要作如下改动：

1. 利用12V 高亮度LED贴片灯带作度盘背景屏光源

买1m长的12V 高亮度LED贴片灯带，如图8所示，可以选择不同的亮度颜色，该收音机的度盘背景屏绿颜色的最为常见。

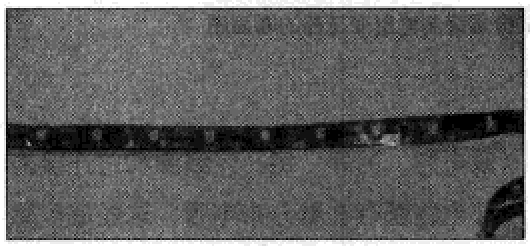


图8 12V 高亮度LED贴片灯带

2. 12V高亮度LED贴片灯带粘贴和连接

按照原机度盘背景屏的外沿上下粘贴好12V 高亮度LED贴片灯带，并将上下灯带用导线并联（注意正、负极要正确），如图9所示。

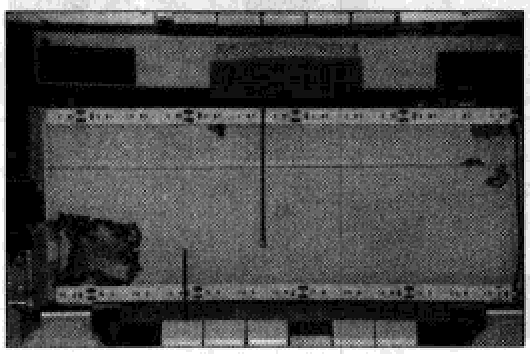


图9 将上下灯带用导线并联（注意正负极要正确）

3. 12V电源的改造

利用本机+2（255V）电源，经过降压和稳压后得到+12V电压，作为高亮度LED贴片灯带的供电电源，如图10所示。改造后的12V电源所用的7812三端稳压器和阻容件在机芯上的安装位置，如图11所示。

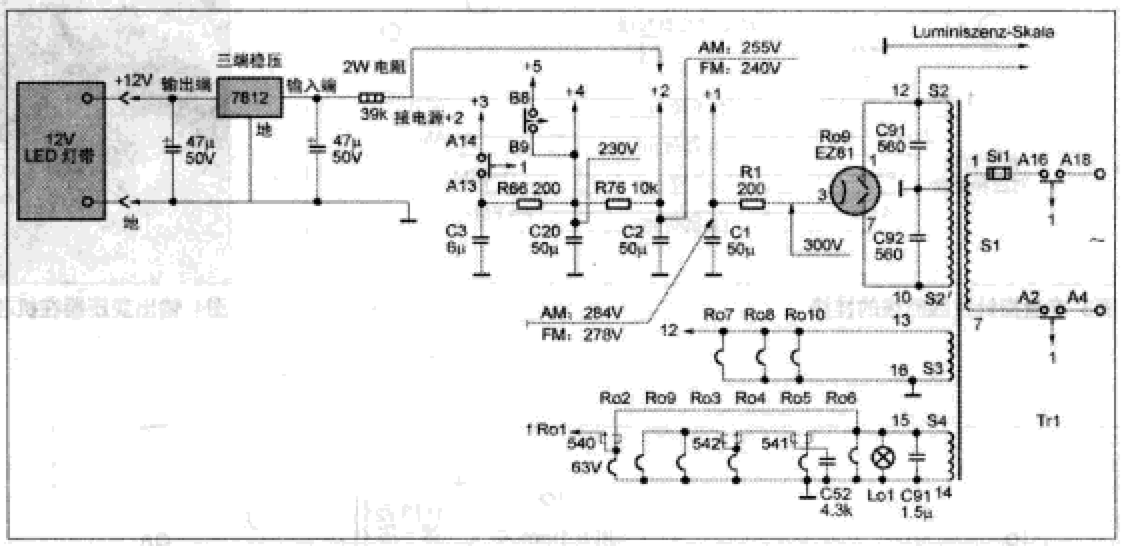
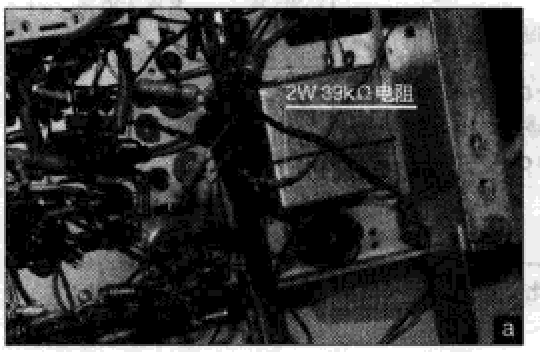


图10 12V电源的改造



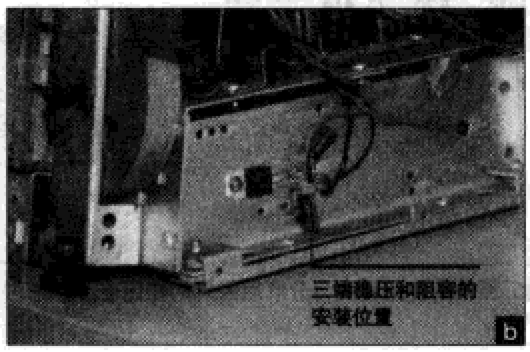


图11 7812三端稳压器和阻容件在机芯上的安装位置

4. 试机

由于12V 高亮度LED贴片灯带所取的电源由Ro9(EZ81)整流后供给，在开机时有一个预热的过程，也就是说LED贴片灯带与本机的调谐指示管（猫眼）同时亮起，通过以上改造使度盘背景屏重新恢复亮光，如图12所示。

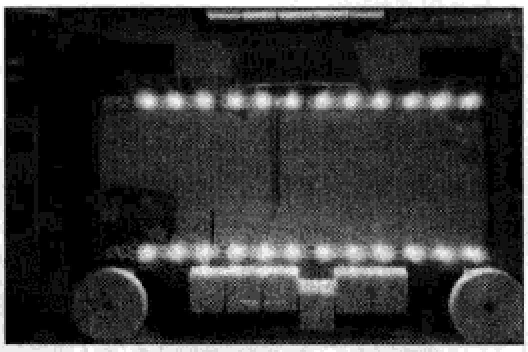


图12 度盘背景屏重新恢复亮光

5. 收音广播与欣赏

最后把玻璃度盘镶嵌到机芯上，并将机芯装回到机壳内，紧固螺丝、装好背板，又一台崭新的飞利浦B7X43A 调幅、调频立体声电子管收音机展现在面前，如题图所示，接通电源，用它收听优美悦耳的音乐，让人有一种身临其境感觉。

拯救有收藏价值的收音机

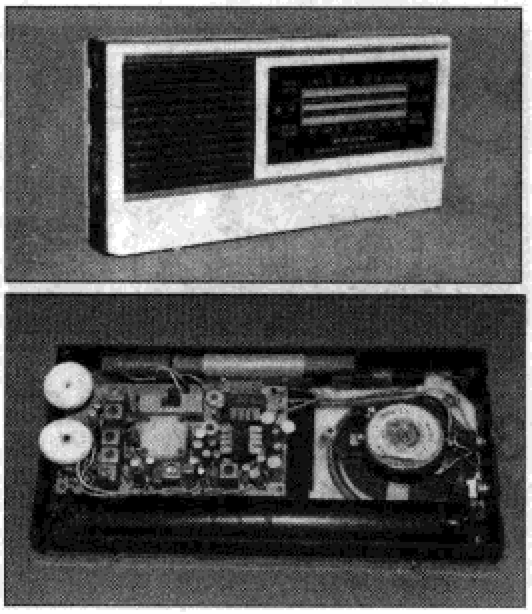
◇赵春云（BA3DX）

图解牡丹648型半导体收音机复原全过程

牡丹648型半导体收音机是20世纪70年代的产品，是由北京无线电二厂生产的二波段便携超外差式半导体收音机。由于该机采用了双调谐回路中频变压器，使本机的灵敏度高、选择性好、通频带宽，因此也是当年深受群众欢迎的一款收音机，是很有收藏价值的收音机之一。

牡丹648型半导体收音机，由于年代已久，此机淘来时已布满了灰尘，并在一定程度上被锈蚀，因此要对整机进行元件分解清理工作。

清理工作之前的牡丹648型半导体收音机的外观实物见下图，电路原理图及印制板图有兴趣的读者可以在无线电官网（www.radio.com.cn）上进行下载。



牡丹648型半导体收音机主要性能：

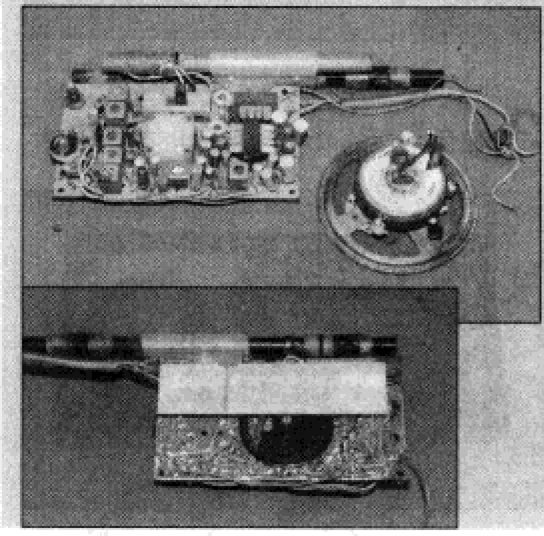
1.频率范围：中波535～1605kHz　　短波3.9～12MHz
2.中波频率：465kHz
3.输出功率：不失真功率150mW，最大输出功率350mW
4.扬声器：直径80mm，8Ω阻抗
5.电源：直流6V，2号电池4节
6.电源消耗：无信号时小于12mA、不失真功率输出时80mA
7.灵敏度：中波不劣于0.2mV/m　　短波不劣于0.2mV/m
8.选择性：不劣于30dB
9.体积：240mm×12mm×45mm
10.重量：约0.8kg（包含电池）

牡丹648型半导体收音机各级晶体管的型号及集电极电流（便于维修时参考）：

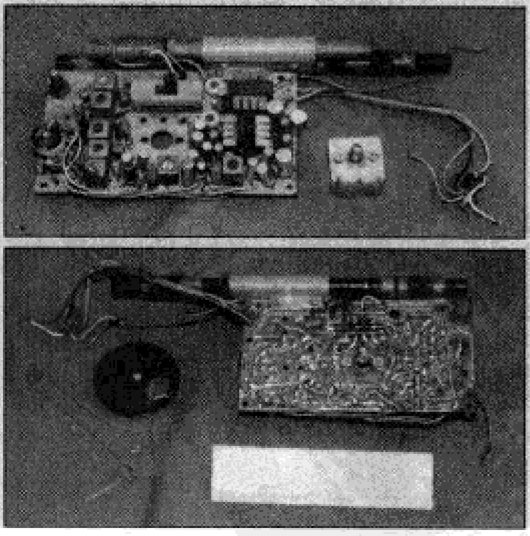
BG1（3AG23）变频管，集电极电流 0.45~0.65mA
BG2（3AG21）第一级中放管，集电极电流0.4~0.5mA
BG3（3AG21）第二级中放管，集电极电流0.5~0.65mA
BG4（3AX21）前置低放级管，集电极电流2~3mA
BG5、6（3AX31B）推挽功率放大管，集电极电流2~6mA

拆卸

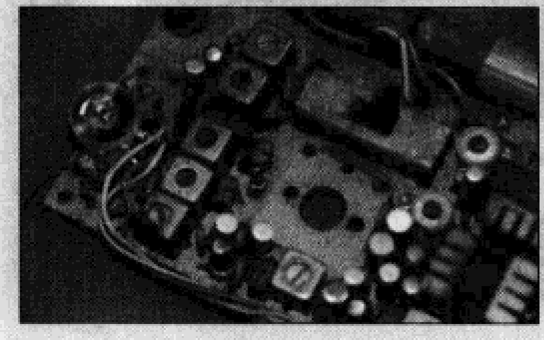
1. 将机芯从机壳内取出来后的机芯正面、背面的实物图。



2. 清洗之前拆掉双联可变电容器和调谐机构的拉线、指针背板、轮盘等。



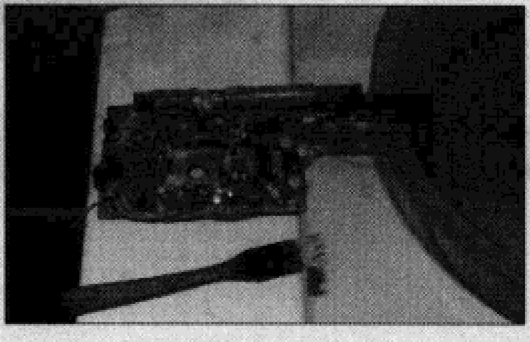
3. 拆掉双联可变电容器后可以直观地看到波段开关和印制板上的尘土。



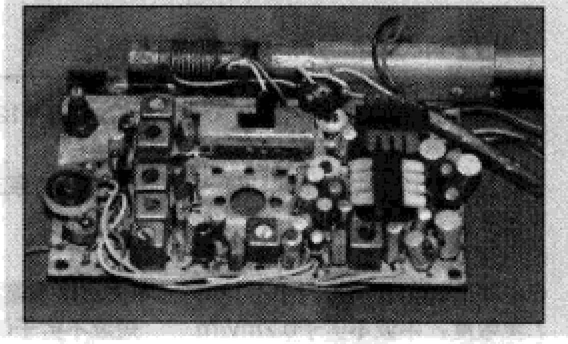
4. 分解后的机壳实物。

机芯及外壳的卫生清理

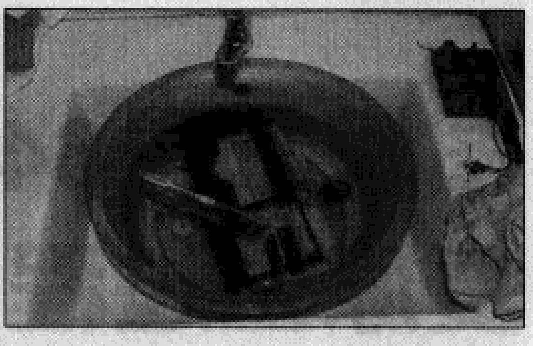
1. 将机芯迅速用清水浸泡一下，然后用毛刷打上肥皂（不要用洗手液，洗手液有腐蚀性）迅速清洗去污，最后再用清水清洗干净。



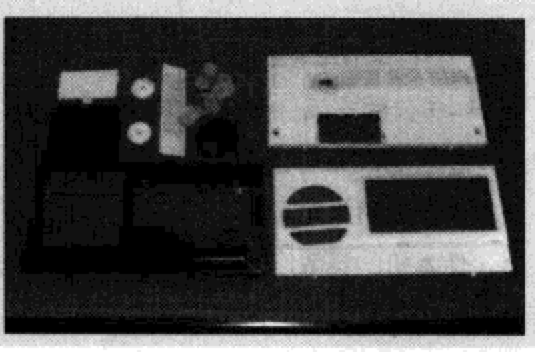
2. 清理干净后的机芯正面实物图。



3. 将分解后的机壳等放在脸盆中，注入清水浸泡几分钟后用毛刷打上肥皂，再用牙刷和毛刷进行去污清洗。



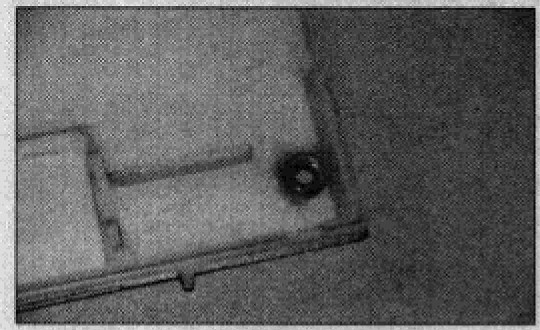
4. 清洗后的机壳。



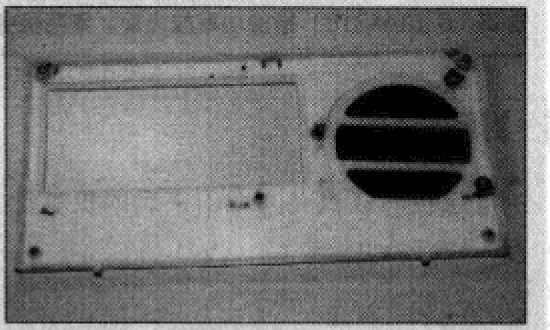
机壳的修补

经历了几十年的风风雨雨，使牡丹648型半导体收音机的外壳存在着一定程度的磕碰和裂痕，在组装之前要进行修补复原工作。

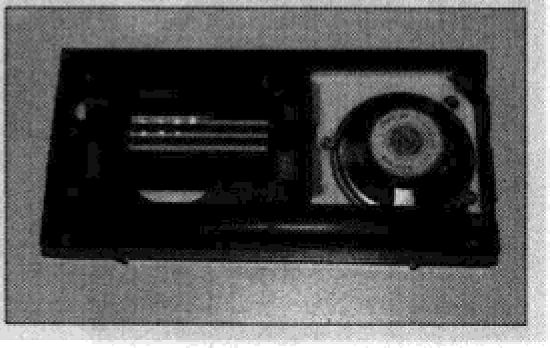
1. 牡丹648型半导体收音机后盖的塑料紧固孔脱落之后，使得后盖与机壳的前框之间无法固定，修复时用AB胶和直径3.5mm的金属垫圈进行粘固。



2. 粘固好的收音机外壳前框及固定支柱。



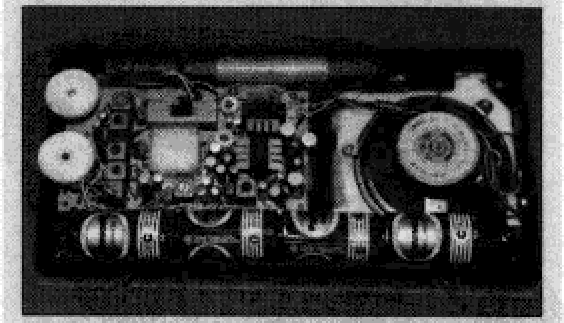
3. 粘固好后的前框与中框组装在一起。



机芯的组装及维修

1. 关于机芯电路的故障维修，前几期的有关文章也做过相关介绍，大体相同，请读者维修时进行参考即可。

2. 将清理一新，工作正常的机芯装入机壳内。



3. 通过以上的清理和维修，复原如初的牡丹648型半导体收音机又恢复到了70年代时的风采，如题图所示。

普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月 中

◇田浩

目前国内的爱好者们收藏收音机很大程度上是出于对童年、少年时期美好回忆的追溯。如果考虑到20世纪80年代之后各种进口产品在中国的泛滥和时下一些中国人对进口品牌的盲目崇拜，更加之一部分当代中国产品在质量、性能方面的令人失望，也可以说对国产收音机的收藏包含了一定的民族自豪感和爱国情怀。

不过，随着时代的发展和日趋深化的国际间文化交流，如果将收藏收音机的意义局限在上述范围内，就不免错过一些更精彩的内容了。实际上在收音机的收藏中，不仅可以体会到数十年来世界各国技术进步和生活水平提高的历程，还能发掘出中国和欧美国家的民族文化个性对各自无线电工业发展进程深藏不露的影响。这种影响和同期发生的重大历史事件、有关国家的民众生活水平、制造商的设计理念等诸多因素结合起来，促使有收藏价值的收音机在无线电工业史上不断诞生。

在上一期杂志中我们介绍了卫星31和东湖41两款收音机，本期我为大家介绍熊猫301A、红叶、凤凰4201A、凤凰4202A四款收音机。

熊猫301A

熊猫301A，如图1所示，是南京无线电厂仅有的一款“四三机”，曾在1959年第4期《无线电》上有过简略介绍，此机的主要参数如表1所示。仅从用管数量上来看，熊猫301A是一款颇为不错的典型“四三机”——在没有采用任何半导体整流或检波元件的情况下，将整机用管数量减少至3个。遗憾的是，此机在推出后并未普及。

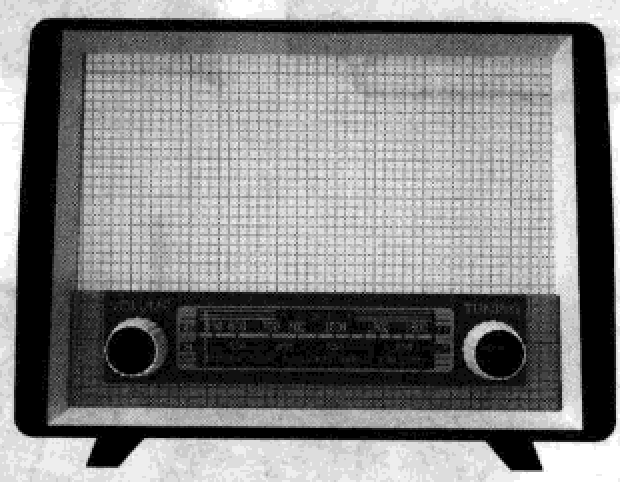


图1 熊猫301A

表1

项目	参数
总功率	18W
输入电压	110V、220V
额定输出功率	0.3W
中波频率覆盖	550～1600kHz
扬声器口径	127mm
电子管	6A2变频
	6N1检波、音频放大
	6Z4整流

此机的外壳为木制，和当时南京无线电厂的几款主流机型，如熊猫506、熊猫601-1具有相似的线型。如果该厂在当时就已经具备以产品外观作为品牌形象符号的思维，那么其品牌概念在国内无疑处于领先地位。当然，熊猫301A的前部造型并非直接复制于该厂的上述主流机型，而是有一定的简化。此机的整个面板从上至下是连续的，在底端开有旋钮轴孔和用来显示调谐指针的方孔，开孔前方以刻度盘遮蔽。

熊猫301A的电路如图2所示，可以看成是将当时普通5灯机型的中频放大级和功率放大级同时去掉后的结果：它有6Z4管做半波整流，其电源供给功率显然绰绰

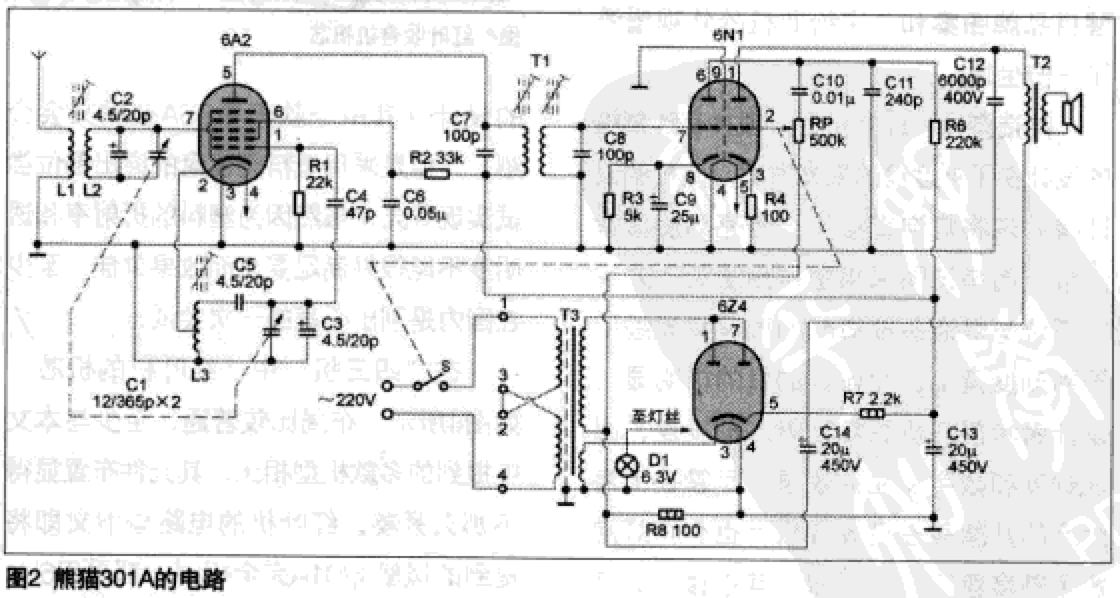


图2 熊猫301A的电路

有余，但是检波和功率放大电路又均由6N1管兼任，然后直接通过输出变压器变换阻抗推动扬声器，放大倍数有限且功率不足。这样一来就出现了各管功能发挥不协调的尴尬局面。国营广州无线电厂同期推出的广州231型3灯机就以6N1双三极管兼任半波整流和功率放大，避免了熊猫301A遇到的问题（广州231采用6J1检波也是一项引人注目的特点，但遗憾的是广州231极其罕见）。天津渤海无线电厂的鹦鹉系列（例如鹦鹉93A、鹦鹉621）和海河432型也是采用6N1双三极管电路的典型，海河432将会在后文详细介绍。

熊猫301A在“四三机”中并非一款性能杰出的机型，但此机却显然令人难忘。熊猫301A是本文中列出的所有“四三机”中唯一在刻度盘上几乎采用全英文标识的产品，这一做法在国产普及机型中相当罕见。迄今为止，笔者对于熊猫301A在国外市场上推广的情况并不清楚。日本和美国在20世纪50年代末期都是世界范围内普及机型的著名产地。日本将普及机型小巧精致的特点推向了新的高度，而美国的普及机型则往往在造型上显露出具有明显民族外向性格的潇洒奔放。如果当时的国产无线电工业以熊猫301A为起点，也加入普及机型的全球市场竞争，会有怎样的成果？这是一个颇难回答的问题，不过可以确定：如果历史以这样的方式发生，对于国内的“四三机”是否能形成具备民族文化气质的风格，将是一次不错的考验。

红叶

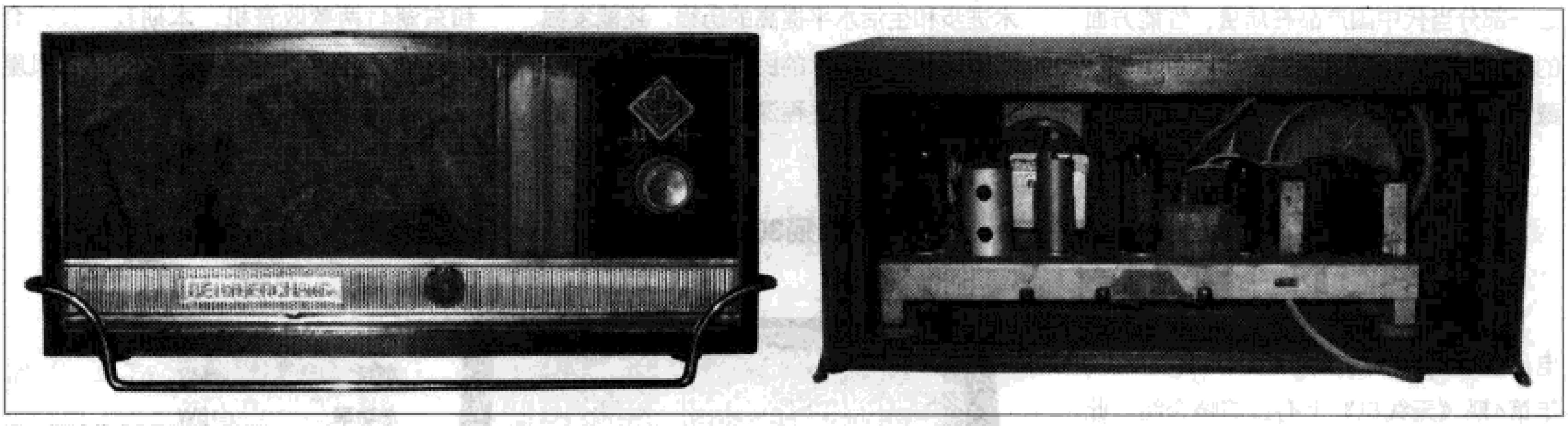


图3 红叶收音机正面与反面

红叶收音机（如图3所示）是北京无线电二厂的产品，此机没有具体型号，它的主要参数见表2。此机造型以棱角分明的直线风格为主，垂直安装的塑料刻度盘，辅以下方的铝制装饰条和用镀镍圆钢条制成的支脚，都显示出明显的工业化时尚特征。在调谐旋钮上方绘制的醒目品牌图案和文字给此机的外观增添了一份生趣。

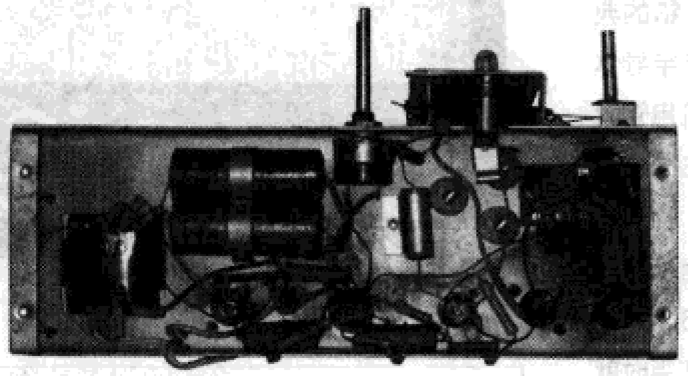


图4 红叶收音机机芯

表2

项目	参数
总功率	35W
输入电压	220V
额定输出功率	1W
中波频率覆盖	535~1605kHz
扬声器口径	127mm
电子管	6U1变频、再生 6G2检波、音频放大 6P1功率放大 6Z4整流

除造型外，红叶机另一项具有独创性的设计在于刻度盘的采光方式。此机的设计者并未将灯泡直接用于照亮刻度盘背光板，而是试图采用塑料刻度盘下方突出部位与灯泡头部适配的凹槽将光线引导到刻度盘上。此设计的目的很明显：设计者希望开机后灯光射入刻度盘，出现刻度和数字发光的效果。尽管在上海生产的几款美多型收音机上也有将灯泡置于刻度盘下方，以照亮其中镂刻文字的设计（其中一款美多65A在后文会介绍），但是采用塑料刻度盘的突出部位尝试实现导光，虽然因为塑料的折射率和透明度不能很好满足要求而效果欠佳，至少在国内是别出心裁的一次尝试。

在“四三机”中，红叶机的机芯，如图4所示，布局比较普通，至少与本文中提到的多款机型相比，其元件布置显得不那么紧凑。红叶机的电路与下文即将提到的凤凰4201A完全相同，都采用6U1作为变频管，辅以再生电路，省略中频放大级。至于6G2检波、低放，6P1功放和6Z4整流则是常见的电路模式。详细的电路特点将在后文介绍凤凰4201A时提到。这两款机型可称为内同外异，它们的外观迥然不同，但拥有结构类似的机芯、相同的电路。总体来说，红叶机无论在电路设计和外观设计方面都具备值得肯定的特点，此机也以较高的普及率而无愧为一款优秀的“四三机”。

凤凰4201A

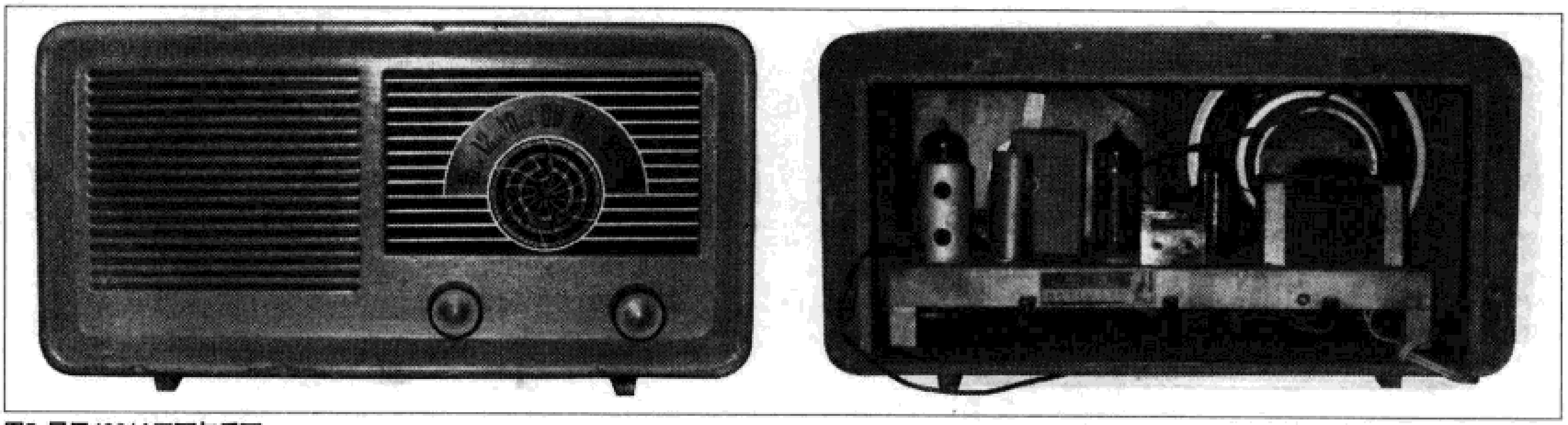


图5 凤凰4201A正面与反面

表3

项目	参数
总功率	35W
输入电压	220V
额定输出功率	1W
中波频率覆盖	535~1605kHz
扬声器口径	127mm
电子管	6U1变频、再生
	6G2检波、音频放大
	6P1功率放大
	6Z4整流

凤凰4201A，如图5所示，也是北京地区的产品，它的主要参数见表3。凤凰4201A的机壳具有更多的圆弧边缘，占据前部近一半面积的刻度盘上绘制有一只站立的凤凰。此机外观给人以传统朴素的感受，与红叶收音机时尚的外观形成鲜明对比。当然两机外观细节也有相似之处，例如音量和调谐旋钮均未加以标明，红叶机的旋钮布置方式允许使用者方便地区分开两个旋钮的功能，但凤凰机在这一方面就有所欠缺了。

如前所述，凤凰4201A和红叶机的电路是一致的，除调谐机构外的机芯结构布局也大致相同。采用6U1作为变频管是这两款机型在技术方面的突出特点。自从这种三极七极复合管在中国无线电工作者的视野里出现以后，如何创新设计以充分发挥其功能成为当时的热门话题。从1958年第9期《无线电》刊载《6И1П型三极七极管》开始到1960年初为止，《无线电》上就出现了8篇与6U1有密切关系的文章，其中不乏一些锐意创新的方案（例如熊猫1501和一款省去电源变压器的2灯概念机）。6U1首次亮相4年后，以6U1变频的普及型成熟电路在1962年第9期《无线电》上出现了，图6即为刊登在该期封底的电路图和元件接线图，此电路即为红叶机和凤凰4201A采用的电路。像6U1这样的复合管在此电路中即使没有将其功能发挥到极致，至少也已经达到了十分充分的地步。据1962年《无线电》的介绍，通过6U1帘栅极的反馈电路，同时实现了中频信号和高频信号的再生（正反馈），最终在检波级之前实现了近60dB的放大能力。

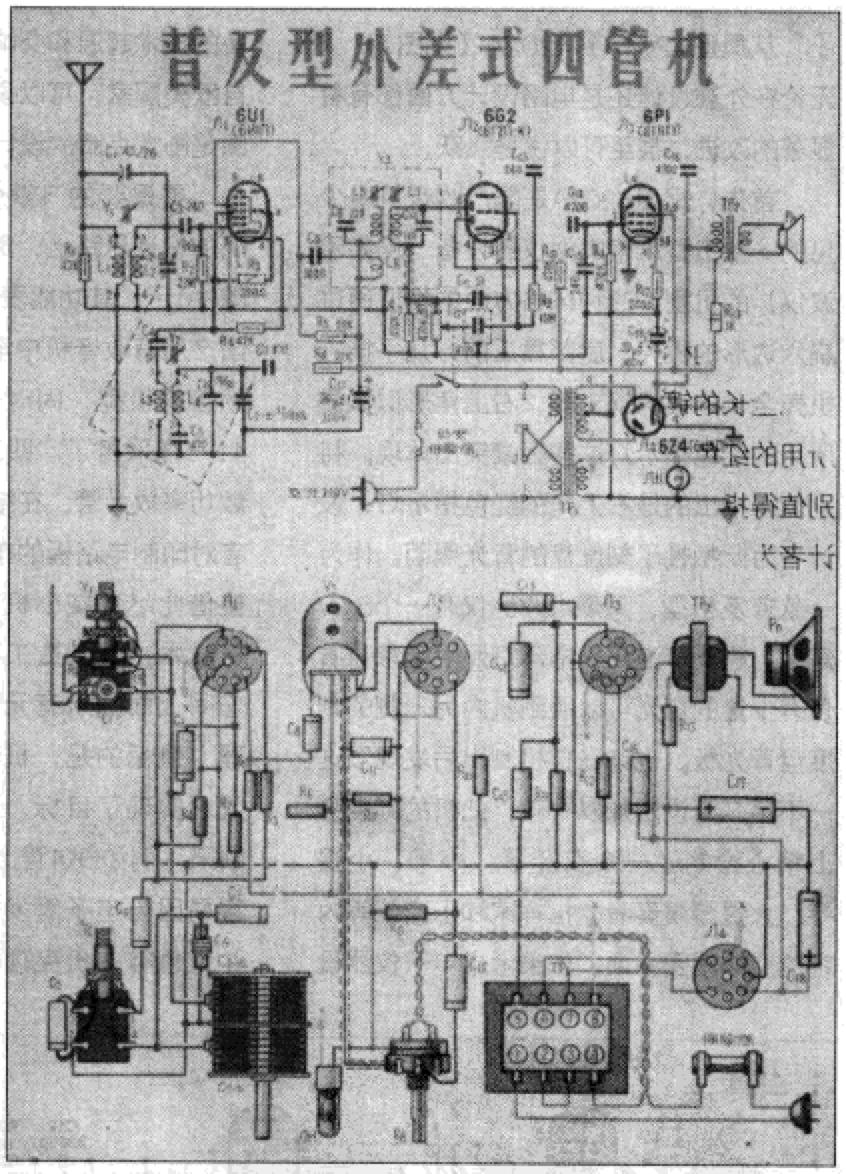


图6 1962年第9期《无线电》封底

在这里强调电路中采用6U1的创新意义，是因为凤凰4201A和红叶机都是在这种新式核心器件出现后诞生的首批产品化普及机型。在那一时期，是否具备磁性天线、变频采用6U1还是6A2以及是否采用琴键式波段开关，都是用来区分普通机型档次的依据。采用6U1的“四三机”，即使不能因此而具备出类拔萃的性能，至少也表现出了令人欣慰的创造性。

凤凰4202A

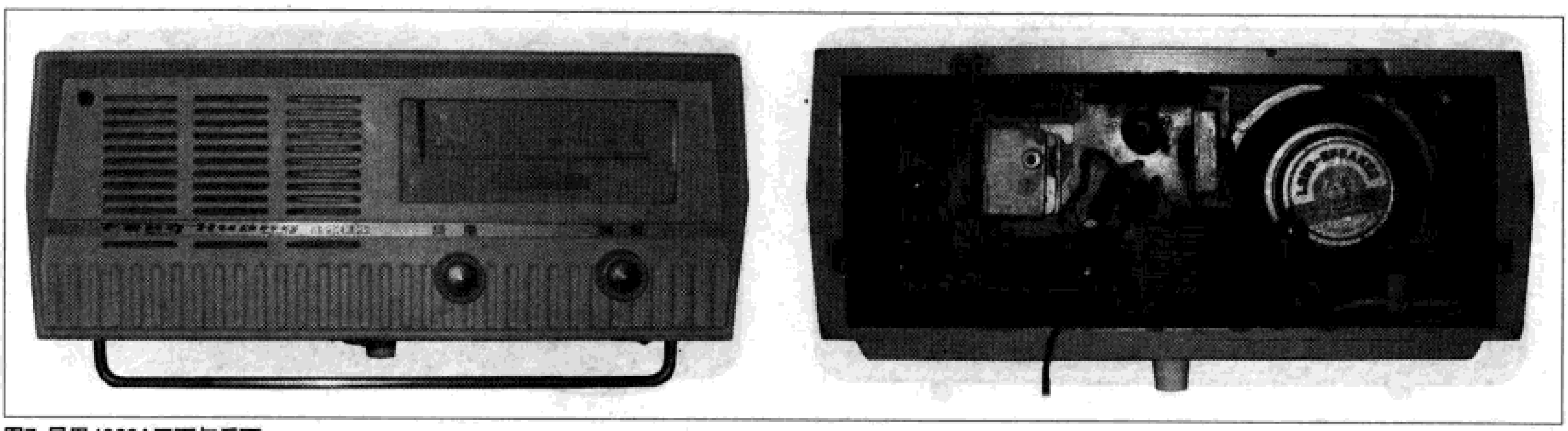


图7 凤凰4202A正面与反面

从凤凰4201A到4202A（见图7），无论在外观设计还是电路设计方面都有着显著的改进，甚至可以说是飞跃。

首先，凤凰4202A是国产收音机中少见的一款造型风格类似仪器设备（例如示波仪）的机型。这种风格方面的相似通过扁六边形的机壳、底部靠近前方几乎接近机壳全长的镀镍钢支脚、右上角形似仪器所用的红色指示灯这些因素突出体现。特别值得指出的是右上角的红色指示灯，设计者为此牺牲了刻度盘的背光照明：作为一款普及机型，凤凰4202A仅有一个6.3V灯泡，将此灯泡用于指示灯照明就意味着仅有少量的灯光可以照到机内另一侧的刻度盘背光板。也许在样机制出后发现了这一不足，为设法加以补救，此机的刻度盘上精心绘制了一个有竖琴、小号、小提琴、大提琴演奏者、指挥家和乐谱架等内容的交响乐团画面。如果考虑电子仪器设备的技术起源和交响乐这门艺术一样都来自欧美国家，可以说这幅交响乐团的缩微图是画龙点睛的设计。

更重要的飞跃体现在电路和结构布局的设计思路上，凤凰4202A的电路图如图8所示，其功能表见表4。凤凰4202A是国产所有收音机中罕见的使用6K4作为变频管的机型，同时也和前文所述的东湖41一样采用了“四三机”中少见的6P14做功率放大管。在结构设计方面，其设计者对印制电路板的布局形式充分借鉴，希望借此尽量减小机芯占用空间，降低整机成本。其制造工艺也是精致的：机芯连同上面的所有元件整体经过浸清漆处理。遗憾的是，机芯的结构设计虽然有效地实现了目标，但是也有一些明显的缺陷，例如6K4管上方的天线线圈骨架就容易因为电子管发热炙烤而变形下垂，并且也存在机壳顶部涂料因受热而出现裂纹或脱落的问题。

表4

项目	参数
总功率	40W
输入电压	110V、220V
额定输出功率	2W
中波频率覆盖	520～1620kHz
扬声器口径	127mm
电子管	6K4变频、再生
	6G2检波、音频放大
	6P14功率放大
	6Z4整流

当然，与凤凰4202A具备的突出独创性相比，上述不足之处应该算是瑕不掩瑜。此机的设计者在采用6K4做变频管后设置了正反馈（再生）电路，而且敏锐地察觉到了这种电路形式受到不同变频管跨导参数差异的影响，特别提出了对再生线圈的安装位置调整方案，安装在中频变压器一侧的支柱上。在1964年第5期《无线电》刊载的介绍此机的文章中也详述了更换6K4后调节再生的方法。如果与同期采用6U1变频并设置再生的机型相比较，我们更能感受到此机设计者的良苦用心。再考虑到此机所用的6P14功放管，可以说凤凰4202A在“四三机”中是一款既留心降低成本，又注重整机性能的杰出代表，设计者在这两方面都表现了出色的创造力。

下一篇，我将为大家介绍另外4款收音机，欢迎大家阅读。

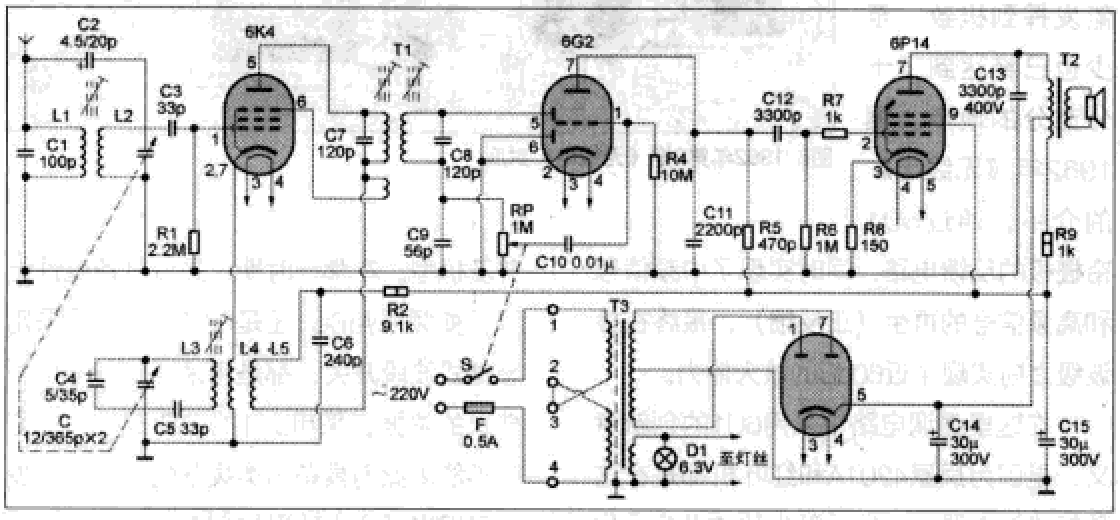


图9 凤凰4202A的电路图

普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月 下

◇田浩

创造性这一因素和民族文化个性、国内技术水平和消费能力等其他因素综合起来，会怎样影响一类机型的兴衰成败？从另一个角度，也可以说我们正在分析国产无线电工业在上述各因素的综合作用下的一段发展历程，并且由此更广泛地推及民族工业是怎样受到传统文化、技术发展背景等诸多因素的积极或消极影响。如前所述，这样的宏观分析建立在以独创性为收音机收藏价值判断标准的基础之上。接下来，本文为大家介绍《普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月》的最后4款收音机：海河432、长城639、宝石441和美多65A。

海河432

海河432系列产自天津，其常见的外观如图1所示。此系列机型的机芯相同，仅在外观方面有一定区别。其外观以平行斜线为特征，具有在简约中透出活力的风格。

海河432的参数见表1，电路图如图2所示，读者不妨参考图3分析海河432的机芯。此机芯的整体布局紧凑，电阻、电容等元件大多排列整齐，稍大一些的纸介电容都用绝缘纸包好以后，用扁铁条牢靠固定在机芯底板上。较大元件的固定并不是当时标准的强制要求，很多5、6灯的机型中对类似0.47μF/400V这样的大体积纸介电容就未采取任何固定措施，由此可以看出天津渤海无线电厂对海河432这款普及机型仍然颇为用心。不过，对于电源变压器这样的大体积重部件也采用扁铁条固定就不太可靠了，即使电源变压器不会因为意外的撞击而从机芯上脱落，使用日久之后扁铁条对变压器硅钢片的预紧力减轻，也会导致变压器在通电时发出明显的“嗡嗡”声，这是扁铁条固定方式的通病。可以顺便一提的是，尽可能采用扁铁条固定元件是海河432机的有趣特色，全机芯上只有7个螺钉用于固定元件(双联电容3个，中频变压器2个，调谐回路线圈和本振线圈各1个)。如果螺钉和扁铁条之间有着明显的价格差，那么此机在降低成本方面是做得非常好的。

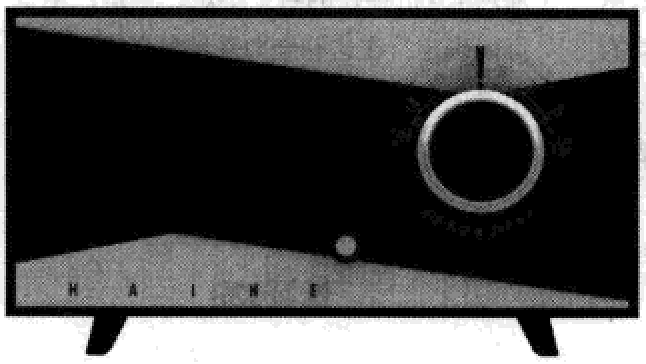


图1 海河432

表1

项目	参数
总功率	30W
输入电压	110V、220V
额定输出功率	0.3W
中波频率覆盖	535～1605kHz
扬声器口径	130mm
电子管	6U1变频、再生
	6G2检波、音频放大
	6N2整流、功率放大

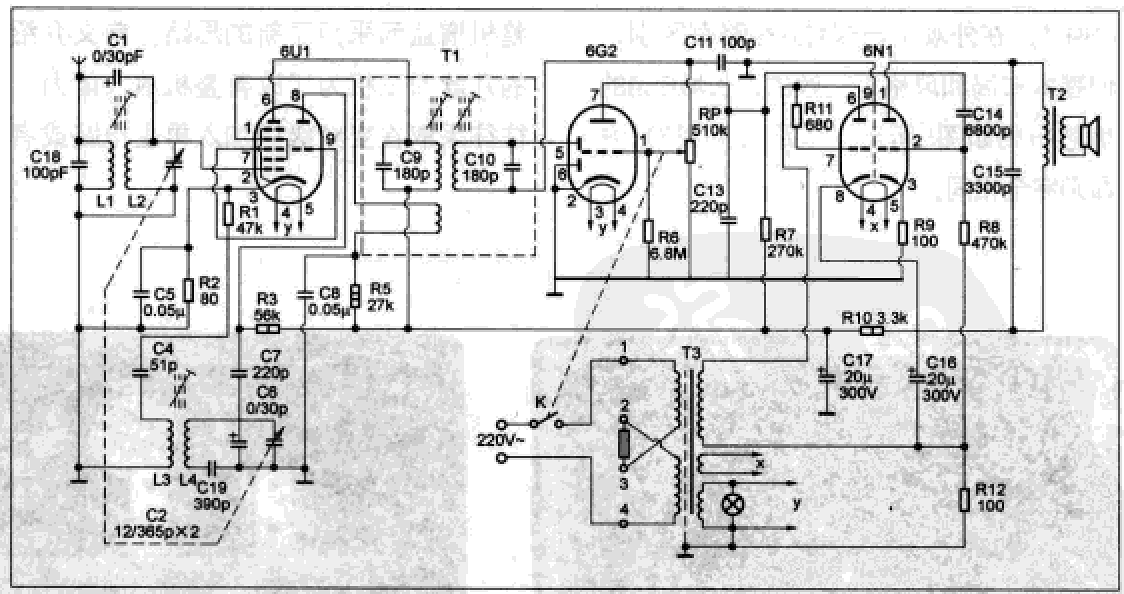


图2 海河432电路图

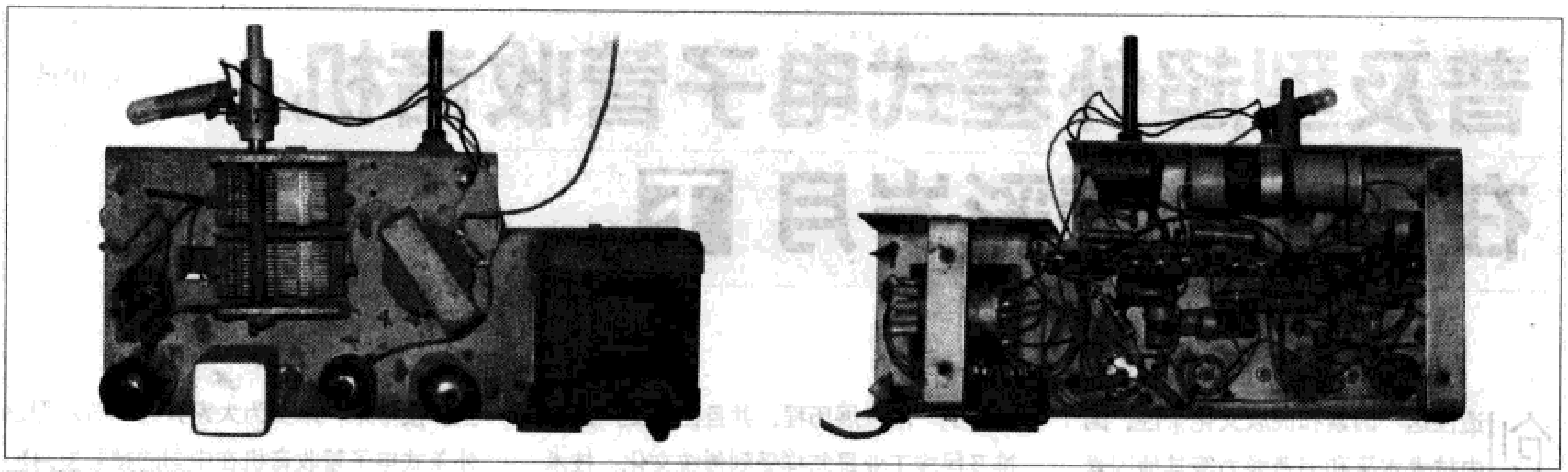


图3 海河432的机芯

电路设计的特点应该是海河432最突出之处。首先，在已知的3灯四三机之中，海河432是唯一采用6U1的机型，并且也采用了再生电路。采用6G2对信号检波和低频放大之后，再以6N1同时担任功率放大和电源整流——这是一个全部采用复合管的电路设计，而且将这些复合管的功能尽可能发挥到极致。

当然，本文无意给海河432的电路设计以过多的赞美之辞，毕竟6N1的整流能力和功放输出功率都很有限，而且再生电路也难以弥补没有中放级的不足。在1975年第3期《无线电》上，就刊载过一篇以此机的修理为主题的文章，文中指出海河432机存在的若干不足。但是，至少可以确定，在这种全力采用复合管以减少用管总数，并尽可能获得较好性能的电路设计中，海河432散发着耀眼的独创性光辉。值得注意的是，这样的创造性思维并不是突然出现的。上一篇文章中介绍熊猫601A时已经提到过天津渤海无线电厂的鹦鹉系列四三机也采用6N1管兼任功率放大和整流——鹦鹉系列的用管是6A2、6N2和6N1。这样看来，在海河432中将6A2升级为6U1、6N2改为6G2也是渤海无线电厂的设计者遵循自己特色思路的水到渠成之作。

长城639

此机也是天津地区的产品，具体参数见表2，其电路在1965年第3期《无线电》上有详细介绍。图4中所示为长城639-1，在外观上与长城639略有区别，但基本布局和风格是一致的，长城639的机芯布局如图5所示，电路（见图6）方面则完全相同。

长城639有中频放大级，这一方面归因于设计者对6U1电子管别具匠心的应用，另一方面也反映出设计者为改善整机增益而采用了新的思路。前文介绍的几款四三机为了改善整机放大能力，往往采取在变频级中加入再生电路或者将功放管换成6P14这样的方案。虽然以6U1为中放管的做法在南京无线电厂于20世纪50年代末期生产的熊猫607中即已出现，但长城639采取此方案在四三机中是独树一帜的。与熊猫607相比，长城639在具体电路形式上也不同，其检波系由

表2

项目	参数
总功率	35W
输入电压	110V、220V
额定输出功率	1W
中波频率覆盖	535～1605kHz
扬声器口径	130mm
电子管	6A2变频
	6U1中频放大、音频放大
	6P1功率放大
	6Z4整流

图4 长城639-1

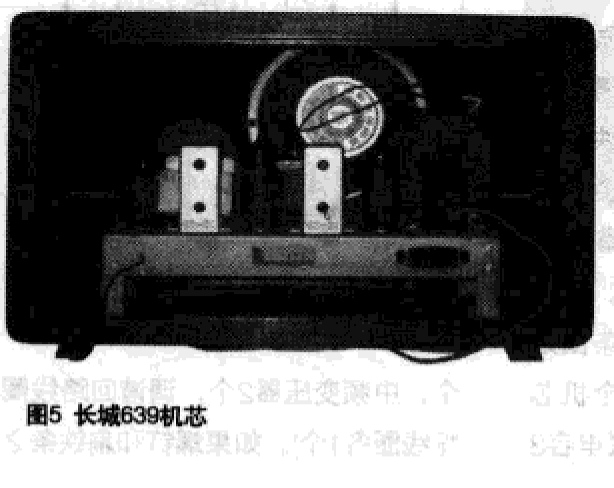


图5 长城639机芯

晶体二极管担任，然后采用6U1的三极管部分实现音频放大，而熊猫607则以6U1三极管进行检波，然后将音频信号送至后级进行放大。

不过，遗憾的是长城639除了电路方面的这一项突出创新之外，在外观造型、机芯结构方面都缺少独创性。其外观与同期的绝大多数5灯机并无明显区别，机芯结构布局也缺乏新意。如果要给长城639扼要的评价，可以说它是一款中规中矩的四三机。

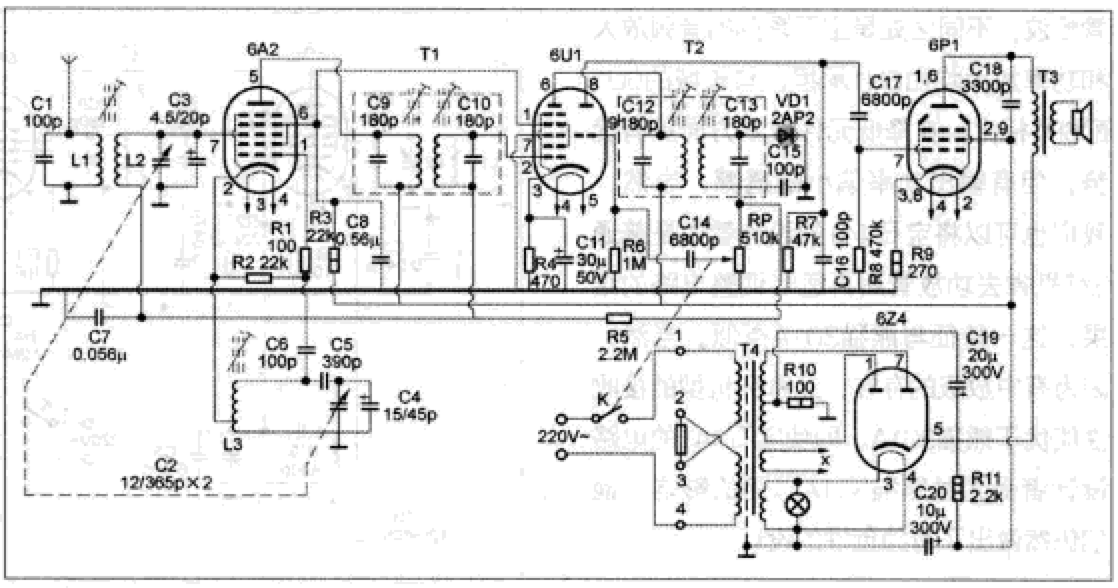


图6 长城639-1电路（长城639与其一致）

宝石441

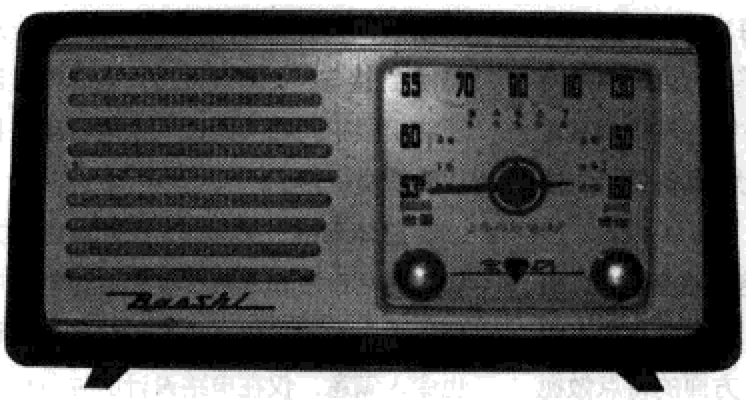


图7 宝石441

图8 宝石441G

宝石441（见图7）系列的首款机型外观完全仿制General 5S-49型。当然，General 5S-49也是一款只有中波段的普及型收音机。从随后推出的441A开始，虽然刻度盘和旋钮的布局未变，但是上海的设计者们已经用直角木壳代替了441型的胶木外壳。宝石441的衍生型号从宝石441A到宝石441G有多种，后缀字母代表着不同造型风格的外壳，所有衍生型号都具有相同的机芯，调谐系统的结构偶尔会根据造型的变化而进行相应改变，例如宝石441G(见图8)，它的机芯见图9。宝石441刻度盘下方由灯泡照亮的红宝石造型指示灯为此系列的点睛之作，读者可以将此设计和前文介绍的凤凰4202A红色指示灯作比较。

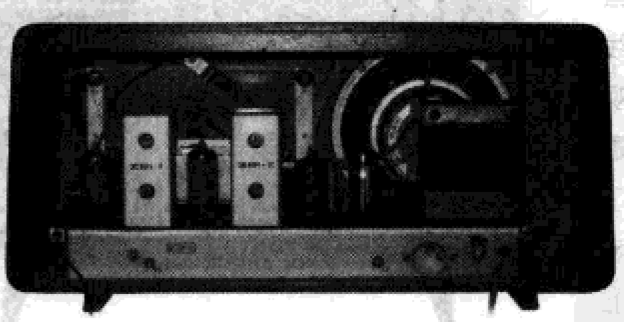


图9 宝石441G机芯

如果将宝石441系列和前述的几款机型对比，我们很容易发现它们在造型、涂色搭配等各项外观因素方面，比本文前面介绍的一些机型显得更加成熟和精致。究其原因：一方面是因为宝石441的原型直接取自小巧精致的的日产机型，另一方面，也得益于上海无线电四厂在外观方面的积极创新。

表3

项目	参数
总功率	26W
输入电压	110V、220V
额定输出功率	0.3W
中波频率覆盖	520～1640kHz
扬声器口径	130mm
电子管	6A2变频
	6K4中频放大
	6N1音频放大、功率放大
	6Z4整流

和长城639类似，宝石441系列也是具备中频放大级的四三机，其电路（见图10）在1964年首期《无线电》上有详细介绍。与长城639相同之处在于晶体二极

管检波，不同之处是宝石系列的音频放大和功率放大均由6N1承担，与长城的6U1配6P1相比，在降低元件成本方面更有优势，但有输出功率偏小的遗憾。当然，我们也可以将宝石441的设计看做是普通5灯机省去功放管后再适当调整电路的结果，这一特征与熊猫301A类似。当然，因为有中放级的存在，此系列机型的接收性能优于熊猫301A。即使宝石441的电路设计者受到过熊猫301A思路的影响，他们仍然做出了有独创性的设计。

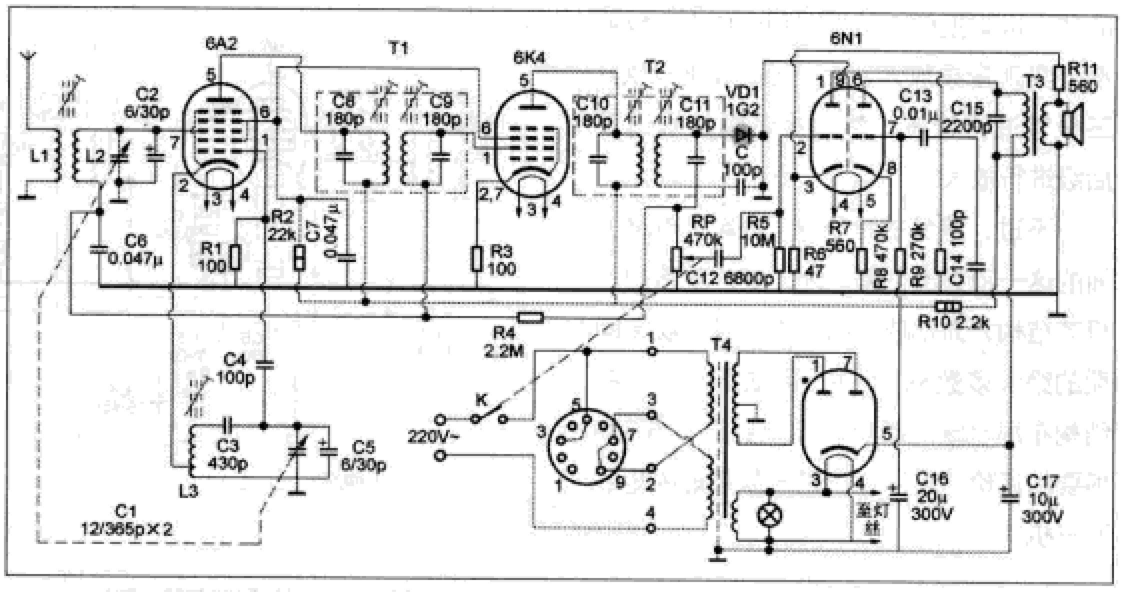


图10 宝石441电路图

美多65A

单就电路设计来说，美多65A（见图11）并不是一款四三机，其参数见表4。但是此机的机芯（见图12）结构布局巧妙，外观造型独特新颖，从这些方面的独创性来考虑，仍将其作为四三机之一来介绍。

作为曾经的著名国产品牌“美多”旗下的一款产品，美多65A的外观设计极富品牌特征。其画龙点睛之处在于：塑料面板格栅的发声孔加强肋制成字母“M”的形状，即品牌“美多”拼音的第一个字母。这一做法既保障了格栅的强度，又强调了此机的品牌，还以在多条格栅水平线中插入倾斜线的形式避免了单调的视觉观感。这种一举三得的设计在国内可以说是凤毛麟角。设计者还在发声孔下方嵌装了一个写有“Meiduo”拼音的小铜牌，不仅进一步避免了外观的单调，而且还对上面“M”形状加强肋的含义起到了提醒作用，一大一小两个“M”相映成趣。

与其机壳结构相应的是，美多65A的机芯具有紧凑合理的立体布局。其电源变压器和卫星31一样贴近机壳底板固定，以取得良好稳定性，输出变压器则和6Z4整流管一起安装在加高的铁架上，节省了空间，也优化了整流管的散热环境。当然，如果仅仅考虑立体化的紧凑布局，与美多65A同期生产的上海163系列也可算是突出的例子。但是，美多65A结构独特的刻度盘设置及其照明方案，再结合其富有特色的外观造型，使此机具备更引人注目的独创性。

因为美多65A的电路仅在普通5灯机电路的基础上略加改进，故在此文中不附其电路图，只对电路设计方面的特点做扼要介绍，详细的内容请参考1964年第8期《无线电》。此机的电路特点在于：本机振荡线圈采用单端线圈(线圈的另一端头悬空)直接与6A2栅极相连，电源变压器高压绕组的中间抽头通过一个阻容电桥接地以降低交流声。

总体来说，美多65A在外观设计方面体现的创造性和成熟程度要胜过前文中介绍的大多数四三机，机芯的结构布局设计也令人满意，仅在电路设计的独创性方面略有不足。

表4

项目	参数
总功率	30W
输入电压	110V、220V
额定输出功率	1W
中波频率覆盖	530～1620kHz
扬声器口径	130mm
	6A2变频
	6K4中频放大
电子管	6G2 检波、音频放大
	6P1 功率放大
	6Z4整流

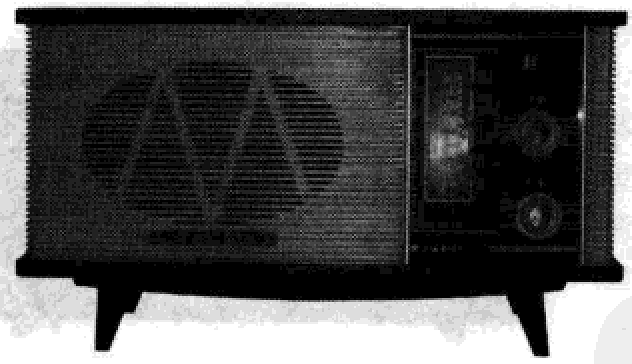


图11 美多65A

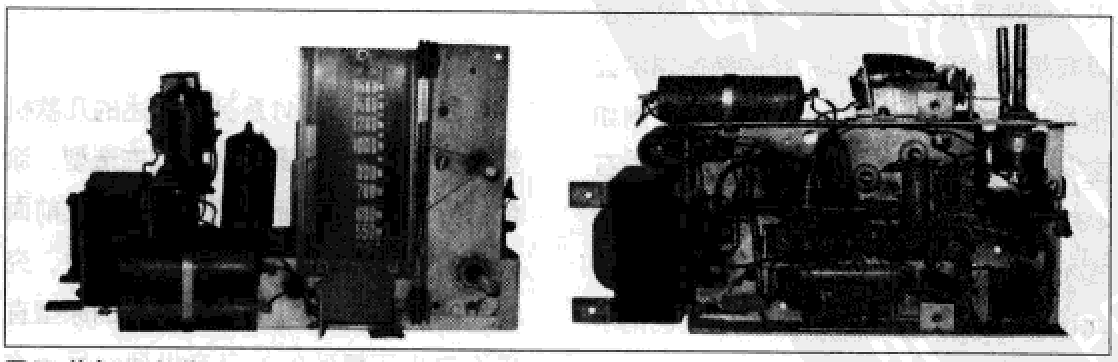


图12 美多65A机芯

小结

在连续3篇文章中介绍的10款四三机，有的在技术方面独具匠心，有的在外观方面颇有特色。可以确定的是，四三机大都具有值得注意的独创性。

遗憾的是，四三机的精彩岁月是短暂的，从开始到结束最多不过10年时间。究其技术方面的原因，主要在于晶体管技术的引进和普及使四三机存在的必要性大幅降低。尽管晶体管在普及初期仍然价格较贵，但是其单一低压电源供电和更适配于印制电路板的特征，使其相对于需要甲乙双电源和搭棚焊机芯的电子管而言，具有降低生产成本的明显优势。

而文化环境方面的原因，则是导致四三机繁荣不再的根本因素。这些四三机的存在，使我们得以撇开计划经济和市场经济这些制度上的差异，从民族文化的角度来分析数十年间创造力在“中国设计”面临的尴尬境遇。中国文化存在着一种极强的趋同性，在这样的文化氛围中，鼓励不同的设计者按同样或相似的思路来进行设计，而不提倡各有特色。也许有人会争辩说当时的计划经济环境造成了对各厂家自主创新能力的遏制，但是我们只要看看50年后的今天，国人在非垄断领域制造的产品有多少“山寨”、“高仿”的实例，就对这点一目了然了。当时在电子管收音机中已经有不少反映出这种文化趋同性的典型例子。笔者和国外的收音机收藏者们曾经讨论过这样一个问题：如果将红灯711及一切在机芯和外型方面高度仿制该机的机型算上，它是不是全世界产量最高的一款电子管收音机？目前来看，答案很有可能是肯定的。

在这样的背景下，和同期国内大量电路模式单一、外观风格趋同的5灯、6灯普通机型相比，这些四三机体现的创造力显得尤其可贵。通过本文中提到的四三机，我们欣慰地看到创新设计在中国各地多个不同厂家的精彩表现。在有的四三机中，虽然仍然存在借鉴模仿的痕迹，但是，至少单就电路方面而言，6A2、6U1、6K4、6G2、6N2、6P1以及6P14等当时国内常见的(也可以说是仅有的)收音机用管在这些四三机的电路中出现了多样化的组合。外观设计方面也有不少独立的尝试，尽管并不总是成功的设计，但是通过这些四三机外观造型展现的中国工业设计最初的创造性思维的萌芽，毫无疑问是值得肯定的。

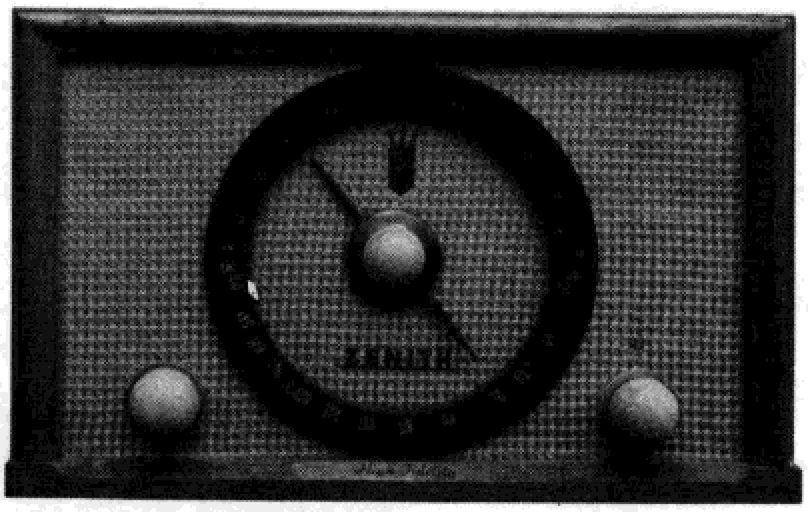


图13 Zenith Y832普及型收音机[供图：Frank Pfeiffer(美)]

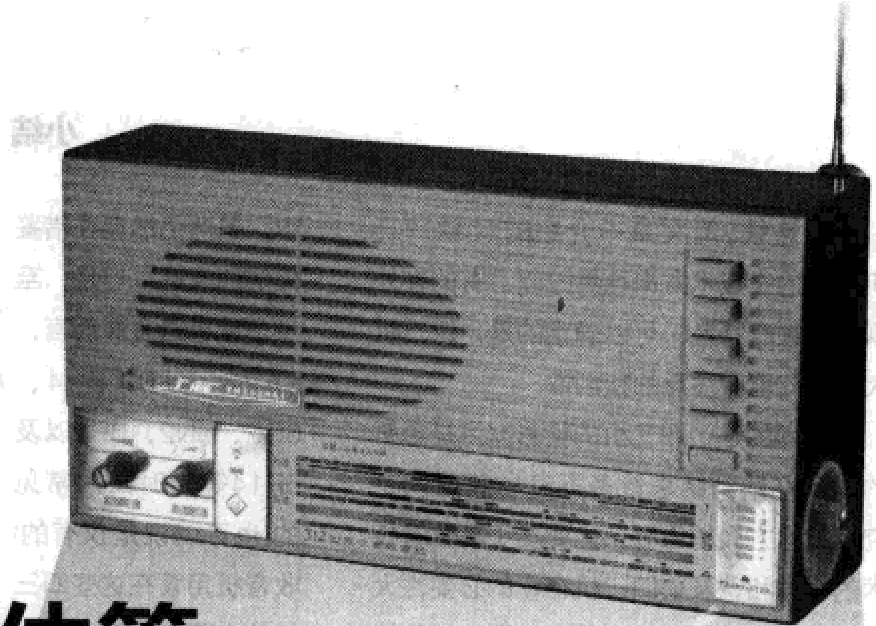
图13中是一款美国20世纪50年代出品的Zenith Y832普及型收音机。此机有AM和FM波段，没有音调调节系统，其特点是将刻度盘巧妙地设置在扬声器发声孔前面。如果仅从外观方面来加以比较，可以说中国的四三机与同期的美国、日本生产的普及机型已经能够不分伯仲。但是，Zenith是一台8灯机，充分使用了专为普及机型而设计的高压灯丝电子管(如19T8和35C5)而省去电源变压器，具有性能优秀的变频电路、完整的2级中放、正规的功率放大和3扬声器输出——这些设计在国产的四三机中是难以实现的。

不过，考虑到当时日本和美国生产的许多普及机型也仅有中波段，我们仍然可以相信：国产的普及机型如果参与当时的国际市场竞争，也能取得较好的收益，或至少能通过在外观上略加改进、在技术上提高性能来满足国际上相应的消费者群体需求。但是如果要考虑国产的机型能否引领同类产品潮流，情况就是另一回事了。即便在50多年之后的今天，当中国制造的产品已经在国际市场上占据巨大份额的时候，“中国设计”的信心在大多数企业之中仍然显得不足。

如前所述，四三机精彩纷呈的表现转瞬即逝。从某种意义上来说，我们从这种昙花一现的现象中能体会到的苦涩和遗憾，同时也是国内制造业数十年来一直在“跟随、模仿、再跟随、再模仿”的模式中反复轮回的苦涩和遗憾。有人可能会提出中国很多机型的设计都无法脱离仿制，的确，在新技术研发之初，对处于先进地位的产品进行借鉴和仿制是无可厚非的。创新设计时往往都会借鉴已有机型的成功之处，但借鉴的关键在于领会现有设计的核心理念之所在，然后以这种理念为参考，按自己的思路进行设计，从而实现从借鉴模仿到创新超越的过程。遗憾的是，中国工业往往未能在创新超越的阶段迈出实质性的步伐。

虽然历史并不允许假设，但四三机至少让我们了解到：如果具备更充裕的资源和更富裕的国情(更积极的市场需求)，中国的技术人员依靠自身的创造才华，有可能做出怎样的成果。假如将四三机在发挥创造力方面的精彩情形，与数十年以后中国成为世界工厂时由于缺乏自主研发而导致的微利状态做比较，我们有充足的理由认为：假如国内能形成鼓励多样化个性的消费市场，以更积极的良性循环实现设计者创造力和消费者需求之间的相互促进，中国制造的未来会更加乐观。

拯救有收藏价值的收音机



◇赵春云（BA3DX）

上海牌312型七晶体管四波段二级收音机的修复

1964年1月，上海广播器材厂试制成功了上海牌312小型台式七晶体管四波段二级收音机，填补了当时我国二级晶体管收音机的一项空白。该收音机采用了6挡推键开关，分别控制4个波段的转换、拾音器的转换及电源的开关。几十年过去了，它的外观设计看上去依然是大气养眼，让人爱不释手，电路设计达到了当年国家的二级水平标准，也是20世纪60年代我国晶体管收音机产品行列中的佼佼者。该机直至目前也是深受收藏爱好者青睐和好评的一款晶体管收音机。

主要性能

频率范围：中波535~1605 kHz（度盘右面对应数字 1）
短波Ⅰ3.8~8MHz（度盘右面对应数字 2）
短波Ⅱ8~13 MHz（度盘右面对应数字 3）
短波Ⅲ14~22 MHz（度盘右面对应数字 4）
以上频率对应的度盘数字如图1所示。
灵敏度：中波＜0.5mV/m
短波＜100mV
选择性：＞26dB
输出功率：额定250mW
最大800mW
机壳尺寸：300mm×89.5mm×154mm

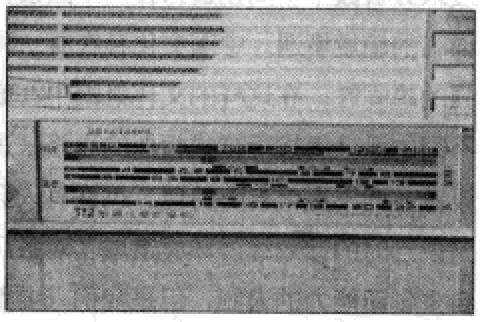


图1 频率对应的度盘

电路简介

刚淘来的上海牌312型七晶体管四波段二级收音机外观布满了灰尘和污垢，机芯有不同程度的修补及改动，如图2所示。

由于版面有限，该收音机的电路原理图和印制电路板在此就不详述了，感兴趣的读者可以到《无线电》官方网站www.radio.com.cn上下载。

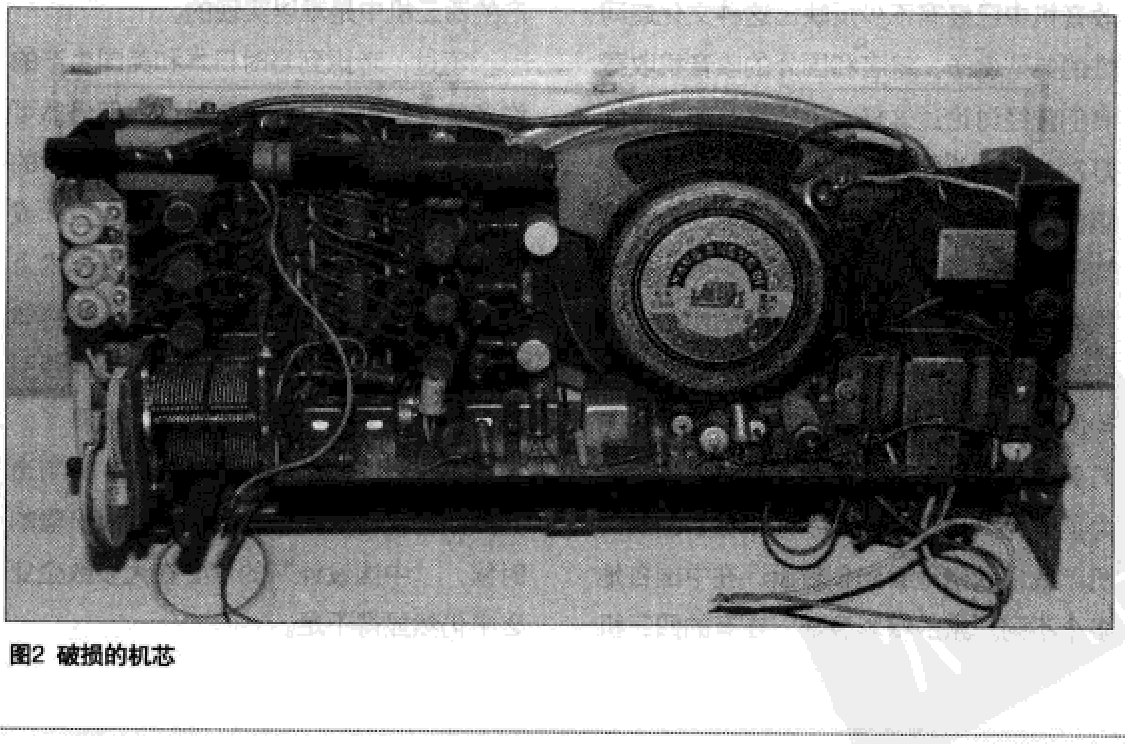


图2 破损的机芯

直观故障的排除

从直观上看，刚淘来的收音机有如下的原件需要更换（以下参考电路图）：

①C31、0.047μF瓷片电容引脚断裂（见图3），用同型号的瓷片电容换到原来的位置上，

②C41 3/15pF中和电容引脚与电路板之间脱焊，将该引脚重新插到原始位置，用烙铁焊牢即可，

③D1 2AP7二极管，它在电路中的作用是抑制强信号，保证工作的稳定性，对该二极管进行正反向电阻测量，发现二极管已坏，用同一型号的二极管换上并将其焊牢，

④BG4 3AX72，前置低频放大三极管，该三极管引脚断线，而且人为更换过（见图4），用一只同型号或3AX31B三极管代用，要求放大倍数在80~120倍，

⑤BG3 3AG1中放管是人为更换上去的（见图5），经过检测，放大倍数低于30，已不能使用，用放大倍数在60~120之间的同型号的三极管换到原来的位置上，并将其焊牢即可，

⑥印制电路板腐蚀断线，将断裂的覆铜板去污上锡后用导线焊好，

图3 C31的位置

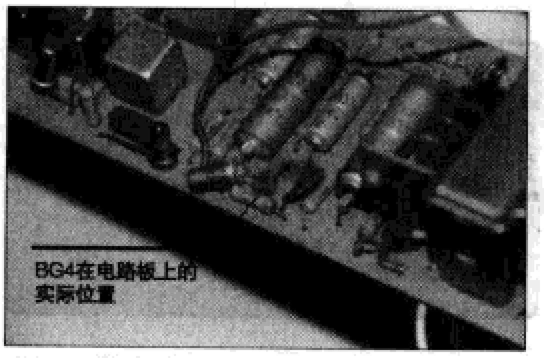


图4 BG4的位置

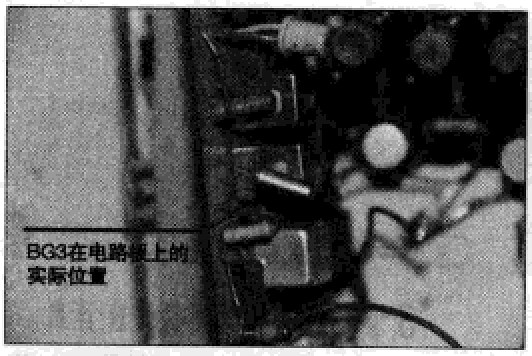


图5 BG3的位置

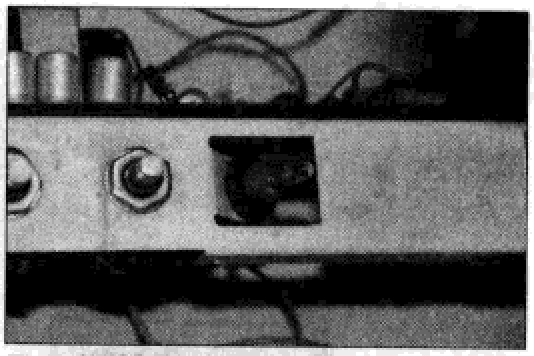


图6 更换后的夜视指示灯

⑦输出变压器接地引线和拾音器接地引线与地线之间开焊（实际接地点在插座上），将其焊牢即可，

⑧夜视指示灯非原始灯泡，将红套管拆除，安装一个原始的指示灯泡即可（见图6）。

经过以上的元件更换处理之后，机芯基本上恢复了原貌，下一步进行的是测试维修工作。

机芯测试与维修

1. 测试时，使用维修电源，将电压调整到9V的位置上，把正、负极分别接到收音机机芯的正、负连接线上，打开音量电位器的开关，发现瞬间电源出现过流保护，经过检查发现C55 100μF+100μF电解电容器严重漏电，C55在电路板上的位置如图7所示，更换两只好的100μF /25V电解电容器后，电源保护故障排除。

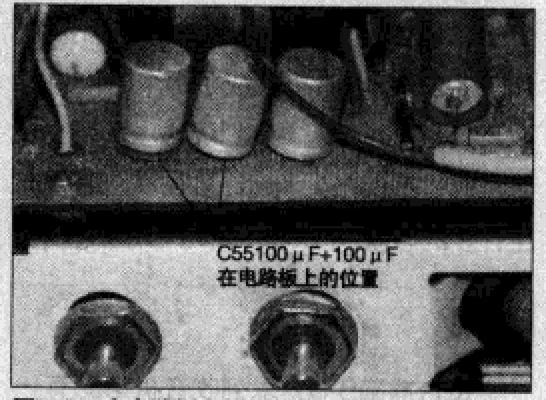


图7 C55在电路板上的位置

2. 接通电源试机声音失真，开机测量电源电压9V正常，测量前置低频放大电路各极电压正常，再测量推挽功率放大级电路时发现BG6、BG7的工作电流大于6mA，不正常。正常的工作电流在4mA左右，进一步检查发现R33偏置电阻人为地调整过，使工作电流偏高，造成声音失真，按照如图8所示的方法，在输出变压器的初级串接一个10mA的电流表，接通电源，调整R33偏置电阻，使电流在4mA左右，调整后试机，声音失真故障排除。

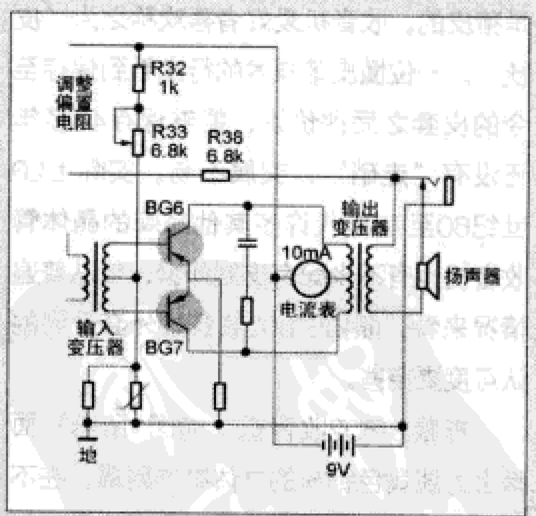
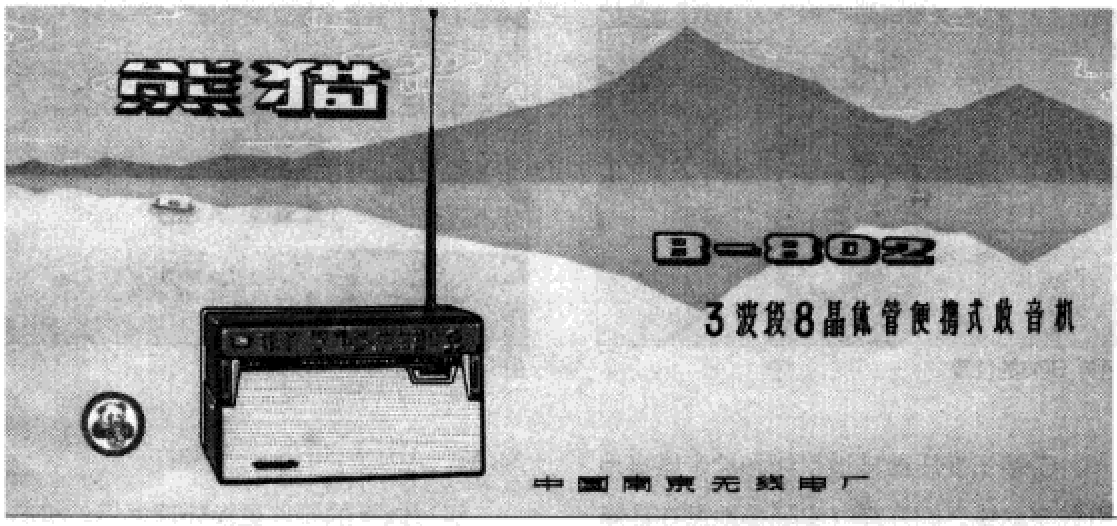


图8 BG6、BG7工作点的调整

经过上述的调整、维修之后，该收音机基本上达到了要求的指标，这台上海牌312小型台式七晶体管四波段二级收音机又展现出当年的风采容貌，如题图所示，修复工作圆满完成。



追忆熊猫B-802收音机

◇陈金林

今天，我们买台收音机已经是一件微不足道的事情了，然而在40年前，收音机却不是每个家庭都能够拥有的，某些品牌的收音机更是需要普通人几个月工资才能够买到。在这种情况下，熊猫牌B-802系列收音机就成了那个时代的宠儿。如今，当我们再度把玩这一系列的收音机时，不仅心头涌起许多往事，还会产生许多的感慨。

外观

每台熊猫B-802系列收音机都配有一个皮制的带有背带的外套，它是南京坚强皮革厂生产的，材质要么是牛皮的，要么是猪皮的。收音机爱好者喜欢称之为“皮袄”。一位懂皮革技术的行家看到保存至今的皮套之后评价说，能够保存40多年还没有“走硝”，实属不易。实际上20世纪60至70年代许多其他品牌的晶体管收音机也有不少配有皮制外套，但从普遍情况来看，熊猫B-802收音机外套受到的认可度更高些。

熊猫B-802收音机（如图1所示）面板上为淡黄色铝质的立体纹饰网罩，在不同角度光线的映射下观看，能够给人以一种动感。3个旋钮窗口周围都是用经过铬电镀处理的金属边框加以装饰，与面板网罩匹配，相得益彰，既协调了整个面板的合理布局，又给操作带来了良好的手感。即使是使用时间长了，也不会因为经常调节这3个旋钮而磨损到较为柔软的铝质面板罩。正上方的那根细小金黄色的装饰细条，协调了指针的根部与度盘边缘的结合。而在另一款熊猫B-802收音机蓝色刻度盘的衬托下，透过十分大方的有机玻璃罩，更起到画龙点睛的效果，恰到好处。黑底白字的名牌，融合这些光亮照人的金属装饰件，使得该收音机更显雍容华贵、气宇不凡。

2009年9月19日，在南京广播爱好者与收音机设计方面的老前辈欢聚活动中，当年B-802系列收音机造型美工设计师哈崇南老先生在谈到这款收音机的色彩设计时这样叙述：B-802-1度盘的蓝颜色是属于冷色调，而下面铝合金面板的金色属于暖色调。这两者之间的过渡又用了属于中性色调的黑色，恰巧又将型号、功能指示等字符，用同样属于中性色调的白字印在其中，这样就协调了各种颜色的搭配，又使得机器显得稳重。

实际情况是熊猫B-802收音机早期带调谐指示表头的也有红色度盘的，排除从稀少角度考虑问题，它的美观性就不如熊猫B-802-1收音机的观赏价值高，它自上而下的色调顺序是暖—中—暖，我们试想，如果把熊猫B-802-1收音机的蓝色基调放在下方，红金色暖色调放在上方，形成暖—中—冷，那又会是一种什么样的情景？

设计

从工艺加工技术水准情况看，有些保存良好的B-802收音机，虽然历经40多年，但仍然未发现丝毫的塑料老化迹象以及锈蚀，外表依然地光彩夺目（毕竟它代表了那个时期中国广播产品制造的较高工艺水平和质量控制水平）。有一些对熊猫收音机情有独钟的爱好者这么认为：直到今天没有任何一款国产晶体管收音机的艺术设计水准及结构造型能够超越熊猫B-802。一台保存良好的熊猫B-802，成为收音机爱好者最基本的收藏品，这足以

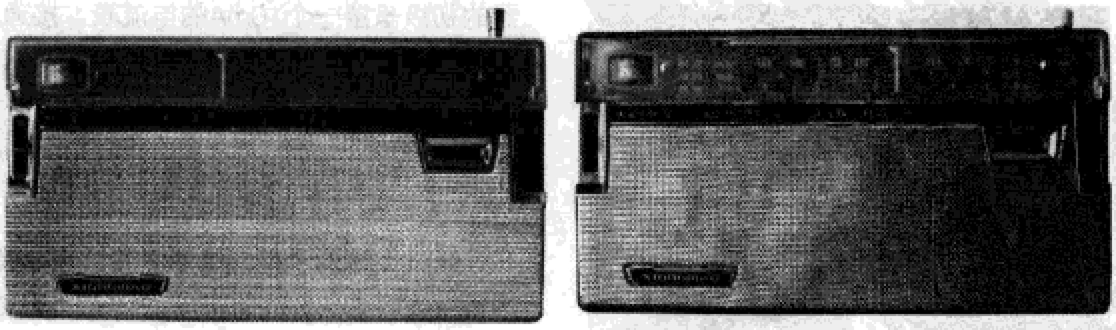


图1 熊猫B-802

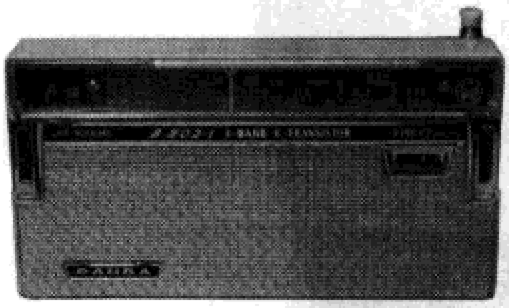


图2 熊猫B-802-1

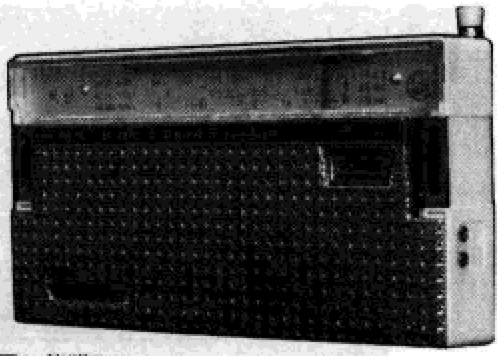


图3 熊猫B-802-4

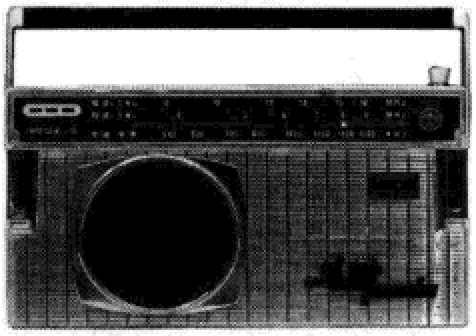


图4 熊猫B-802-5

说明爱好者们对它的喜爱。

在熊猫B-802收音机狭小的机壳内，各种元件的排列极为合理，这主要得益于频率调谐指针行走系统设计的独具匠心。（最初B-802的外观、结构设计参考了夏普BX-330收音机。）在设计之初，设计者认为如果该机刻度盘更长一些，可以使得外形更加美观，但刻度盘加长又必须与指针行程的加长相适应，否则很难看，要知道一台收音机的视觉中心就是它的度盘。但是指针行程的加长取决于可变双联电容器上的拉线盘直径的增加，而这又受到整机结构的限制。那时的南京无线电厂的设计人员真是费尽了心机，极其巧妙地应用滑轮原理，使指针的行程加长了一倍，正是这一突破，使我们看到在如此小体积的8管收音机中有那么协调、大方而又美观的频率指示系统。

构造

B-802收音机同样也具有良好的实际收听效果，其电路用了8只三极管，在20世纪60至90年代晶体管全盛时期，作为小型的便携式收音机，在国内属于经典、完善的电路设计。尽管广播频率范围从100kHz～26MHz，但实际使用的是3～18MHz，B-802收音机的三波段设计已经满足公众对广播接收的基本需要了。

对于波段开关而言，B-802收音机的设计也很独特，设计人员采用了移动印制电路板与触点位置进行切换的方式，其特点就是制造简单、部件少、可靠性好。如果使用时间长了，产生接触不良的问题，需要对它进行清洁、维修的话，只需要将旁边的拉杆天线卸下，拧下其中的两个小螺丝便可将长条型的印制电路板抽出进行清理。完成后要恢复时，可以看到线路板其中一端为斜角，能够很方便地插入两侧的触点簧片之间。

就音质而言，尽管它的扬声器尺寸并不大（在这么小的空间里不可能再用更大尺寸的扬声器），然而所发出声音的音质，已经能够让人满意。

就熊猫B-802收音机各个方面来说，即使是现代的工程技术人员也很难指出其明显缺陷。

史话

一些爱好者会发出这样一个疑问：既然有熊猫B-802、B-802-1（见图2）、B-802-4（见图3）、B-802-5（见图4），为何没有见过B-802-2、B-802-3收音机实物，而《无线电》杂志等却有它们的图片？实际情况是由于试制出来的B-802-2、B-802-3样机拿到总设计师龚剑泉面前之后，其外观造型效果与他想象中的差距较大。之后他又征求了张福英等其他技术人员的意见，决定放弃这两个型号的收音机，因而没有正式生产，造成了我们只看到有效果图而没有见到收音机实物这样的情况。

B-802收音机最早设计于1963年，1964年正式生产。一开始主要是提供给县、团级国家干部以及没有交流电的边防、海岛部队使用，由于灵敏度高，后来沿海外出打鱼的渔民也广泛使用它。在南京无线电厂制造的众多半导体收音机产品中，B-802-1收音机这一款产量最大，在20年的时间里制造了近47万台。而在熊猫B-802系列中又数B-802-1、B-802-4这两款收音机最为让人喜爱，设计上端庄秀丽的造型，相得益彰的色彩搭配，使它们如同从前大家闺秀中的出类拔萃的两姐妹一样，令人百看不厌。南京的一位收音机爱好者就收藏有一百多台各种各样的熊猫B-802。保存良好的熊猫B-802，是一件令收藏它的人引以为豪且让人羡慕的事。

今天商店里的各种形式、造型的收音机琳琅满目，带调频的、全波段的、带MP3功能的……使人眼花缭乱。但基本的外观结构没有改变，跟30年前制造的收音机一样，无非是一个前框，一个后盖。单调的外观，总让人感觉缺了点什么。省略掉的艺术装饰就如同缺少了灵魂一样，呆板、单调。这就不能不让人悟出这样一个道理，收音机这东西不仅仅是听的，还是让人感觉的，让人用眼睛来欣赏的！

在这里我们要感谢曾经参与设计、制造熊猫B-802收音机的老前辈们，是他们智慧和辛劳给我们这些收音机爱好者们留下赏心悦目的精神享受，他们是：

总设计师：龚剑泉

产品设计负责人：谢钜铮

外观造型设计师：哈崇南

结构设计师：蒋安宗、邹克俭

电路设计师：顾申年、罗翠英（女）、周元理、王承华（女）

◇田浩　Jon Stonehouse Jr.(美)

Telefunken Opus Royal Stereo型落地式收音电唱两用机详析

1903年两家德国电信业巨头联手建立Telefunken(德律风根)公司，此后的数十年中，这家公司一直在民用和军用无线电技术领域保持着国际领先地位。20世纪50至60年代前期，Telefunken、Grundig、Saba、Siemens、Philips等品牌的电子管收音机以豪华的外观和卓越的性能占领了欧美高端机型的市场。这些品牌的收音机虽然未曾在中国大陆出售，不过中国有多款高端机型（如上海131、飞乐272、牡丹911、春雷101等）在设计时是以欧洲品牌的收音机为仿制原型的。

本文将为大家介绍Telefunken的一款杰作——Opus Royal型落地式收音电唱两用机（见题图）。

这款Opus Royal Stereo的机壳具有20世纪60年代初期的流行风格：以直线条为主的方正外观。这种造型作为20世纪60年代初期的时尚样式，是那一时期欧美大型台式机或落地机的外观识别特征。

从题图中可见，关闭前部推拉式的防尘门时，Opus Royal看上去更像是一件普通的立柜，并不能给人以收音机或电唱机的印象。只有将此机右侧的防尘门拉开，才能显示出Opus Royal的型号铭牌、刻度盘、控制旋钮、琴键式波段开关和音色开关，如图1所示。

类似Opus Royal这种采用防尘门的做法，在同期的其他品牌落地式多用机上也可见到，例如，Grundig的多款落地式收音电唱机就将收音部件装在一个可以向前拉动旋出的抽屉式木质底座上。防尘门甚至在一些大型台式机上也有安装(例如Siemens H52采用了两扇安装在轴上可左右拉开的防尘门)。这些设计的功能是：在不使用收音机时可以对旋钮、按键和刻度盘予以良好保护，也省去了对这些表面形状复杂的部件进行清洁的麻烦。更深层的原因则在于社会文化方面：Opus Royal这样的大型落地机被设计作为富裕家庭放置在客厅内的家庭休闲娱乐中心，正如在之前的数十年中收音机所扮演的角色那样——它们需要和那些富丽堂皇的家具相协调。如果旋钮、按键和刻度盘都不可遮挡地显露在外，会影响整个房间在视觉上的一致感。

从图1中可以看出这台Opus Royal使用的刻度盘与美洲版Opus 7相同。实际上，最初推出的Opus Royal仅是Opus 7的机芯在加装电唱机后改为落地式的升级版，如图2所示，一张当年的技术资料可以有力地证明这一点：在页眉上同时印着

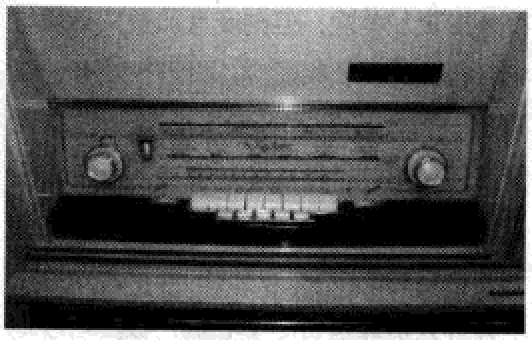


图1 Opus Royal前部细节

Opus Royal和Opus 7的外观图片，资料中列出的大多数技术参数也为两机共有。

在本文中介绍的Opus Royal是改进后的Stereo(立体声)版本，一方面对扬声器的安装形式进行了改进，另一方面加装了副机芯以实现双声道立体声输出。在副机芯上以ECC81双三极管和一只EC92三极管组成FM立体声解码电路，这些都是Opus Royal Stereo足以被称为德机辉煌时代巅峰之作的重要特征。图3所示是一家电器销售商为其出售的Opus Royal Stereo在报纸上刊登的广告，标明此机为“落地式收音-电唱高保真音响系统(Console Radio-Phonograph High Fidelity Sound System)”，由此可一窥此机在当年欧美发达国家的地位。

有读者可能会提出异议：电子管立体

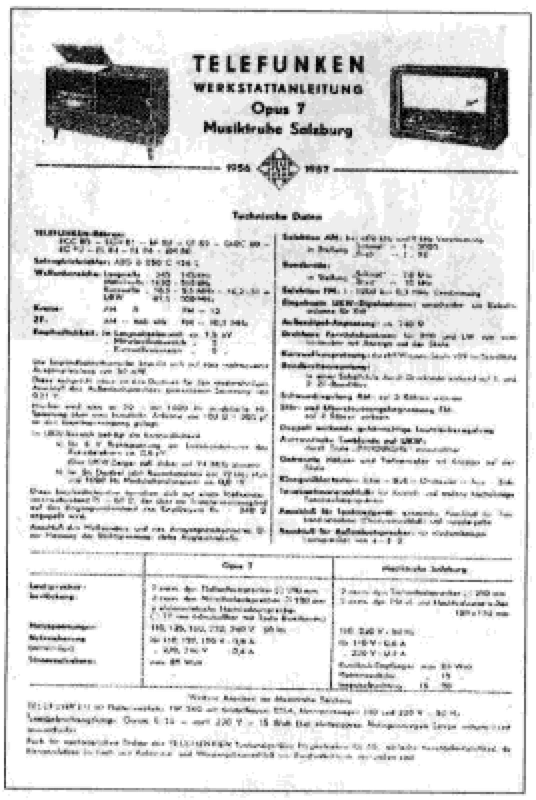

TELEFUNKEN
WERKSTATTANLEITUNG
Opus 7
Musiktruhe Salzburg
1956 1957
Technische Daten

图2 Opus Royal的资料文件

Carl's Presents . . .

THE OPUS ROYAL STEREO

by TELEFUNKEN

Console Radio-Phonograph High Fidelity Sound System

AM, FM, Short Wave, Long Wave, Short Wave Log—Spreads Short Wave Bands; 14 tubes; 2 Push-Pull Power Amplifiers 12 watts each—2 EL 84 (6BQ5 equivalent); 6-speaker Omniphonic sound system in perfectly insulated Speaker-Vault; Selectovox . . . for perfect tonal control; automatic anti-fade control; tuning "eye" assuring precision tuning; jacks for tape recorder, external speaker, outside AM and Short Wave antennas, outside FM antenna and outside ground. Dimensions: 48¼"x33½"x17⅝".

Telefunken Record Changer features Sonotone Stereo ceramic pick-up cartridge with diamond and sapphire stylii. Plays ten 10" and 12" intermixed records. Push-button control with Pre-Amplifier and Equalizer.

Available in Mahogany, Walnut, Blonde or Ebony.

You Can See and Hear It At Carl's!

CARL'S RADIO & TV SALES and SERVICE, Inc.
1936 Hillview RI 6-4185

For CARL'S Customized Service Call RI 6-4185

图3 Opus Royal的报纸广告

声解码器在20世纪60年代中晚期的德产机型上并不鲜见，为什么唯独要对Opus Royal如此称赞呢？原因在于：首先，这样一台体积庞大的落地式多用机是以家庭娱乐中心的身份存在的。随着电视技术的发展和晶体管收音机的普及，在20世纪60年代中期之后，曾经由收音机独占鳌头数十年的这种身份被转移给了电视机。此时，的确有不少具备解码器的电子管收音机被生产出来，但是它们不再是客厅里众人瞩目的中心，更多的是以中小型台式机的形式被放置在起居室或餐厅里，变成生活中更具亲和力的伴侣。因此，Opus Royal Stereo作为一台具有立体声解码器的大型落地式多用机，是收音机发展史承前启后过渡阶段的典型产品，具有重要的历史意义。

从Opus Royal的后面看去（见题图），可见主机芯的后盖板为下部内凹的折板，这样设计的原因在于背板需与机芯后侧的各种插孔相配合，而此机的主机芯与Opus 7台式机的机芯相同，因此机芯后侧与机壳后部平面之间有一段不小的间距。在多用机这种衍生机型上采用原型收音机机芯的方案，在中外都有，例如，中国的熊猫609、熊猫1501就分别采用了熊猫601系列、熊猫1401的机芯，凯歌4261的机芯也与凯歌593系列的机芯一致。

取下后盖板，就能清楚地看见Opus Royal内部构造的全貌（见图4）。作为一款标注有Stereo的机型，此机布局有两个方面值得注意：其一，因为多出了FM立体声解码器和一个声道的放大电路，所以在底部垂直加装了一个较小的副机芯，其二，为了在面积较大的房间内实现较好的立体声放音效果(当年购买此机的用户通常会拥有一个宽敞的大客厅)，将扬声器安装在偏向左右两侧对称布置的矩形截面传声筒上。这样的扬声器布局也是Opus Royal处于社会文化背景和技术过渡时期的一个证明，因为立体声广播和放音技术在此前并未普及，而20世纪60年代中期之后的立体声音响系统往往都采用分立式音箱了。2010年第3期《无线电》上介绍的Telefunken Opus 2430就是电子管立体声收音机晚期产品的一个典型实例，该收音机的音箱和主机相互独立，其模式已经与后来的组合音响相差无二。Opus Royal的数据参数如附表所示。

仔细观察，如图5所示此机的主机芯，与Opus 7的相同之处已无需赘述。至于内置电唱机的功能，和同期的其他欧美品牌多用机相比也没有特别突出之处：多转速选择、多张唱片自动连放。当然，唱头是立体声的。为了向电唱机和副机芯供电，在主机芯的音量电位器上方加设了一个内置插座。电唱机的音频信号输出通过插头与机芯上的插孔相连，也就是说，需要外接信号源时，可以通过切换插头的方式在内置电唱机和外部信号源之间实现完全切换。不过，此机的巨大体积和重量会使这种切换插头的做法十分不便，在外接录音机时也会遇到同样的问题。

至此，不妨对Opus Royal的主机芯电路进行一次简要地剖析，以了解Opus系列在技术上达到极盛状态时的景况。

从调频波段的第一级开始，我们就可以看到典型的20世纪50至60年代德机技术风格：采用ECC85双三极管实现调频波段的变频功能，并以调感线圈进行调谐。除电子管之外的所有高频元件都装在一个厚屏蔽盒中，其中也包括调频波段第一级中频变压器。

调频波段的第二级电子管是ECH81。此七极三极管是德产收音机在20世纪50年代中期之后调幅波段变频管的标配，也常常以其七极管部分兼任调频波段第二中放管。在调幅波段工作时，三极管担任本

图4 取下后盖板的Opus Royal

机振荡而七极管担任混频的模式也为国人所熟知。短波本振电路中有一个可调线圈设置在调频波段的屏蔽盒中，用来实现频率展宽。Opus系列富有特色的分立调谐机械结构已经在《无线电》杂志之前介绍Opus 6时详细介绍过。

在ECH81之后是两级基本相同的EF89五极管中放电路，这两部分主要区别在于第一个EF89受到来自检波级EABC80的自动增益控制。由EABC80担任调幅鉴频、调频检波兼第一低放管的模式也是德产收音机中习以为常的——实际上，EABC80是为这一身兼数职的功能而设计出的收音机专用管，类似于6G2和6H2两管的结合。当然，此管对自动增益控制的功能也值得一提，调频、调幅变频级和上文所述的第一个EF89都受到来自此管的自动增益控制作用。

另外一项Opus系列中值得一提的配置就是自动降噪功能。此功能在其他一些德产机型上也可见到，但是在国产收音机中极其少见。自动降噪功能由一个和其他波段开关并列的按键控制（即图1中长波按键与中波按键之间的那个），按下此开关即可同时实现下列切换：（1）在2个EF89之前的中频变压器调幅部分串入一个线圈改变通频带宽度，（2）改变功放级与一对压电式高音扬声器相连接的分频阻容网络，（3）对输出变压器与低放级之间的反馈音调网络，低放级与中放级之间的反馈电路进行切换。三者之中，除了（1）曾经被上海131系列的高音调节电路所采用外，其他二者均未被国产电子管收音机采用，即使高端国产机如牡丹911、飞乐272也未见设置此功能。显然，Opus中这种全局性的低噪控制方案，与仅对部分电路进行调节的做法相比，具有更好的降低高频噪音效果。

附表　Opus Royal Stereo主要参数

项目	参数
总功率	105W
外形尺寸(mm)	1226×851×448
输入电压	110V
扬声器数量	6
输出功率	12W
波段	长波 145～320kHz
	中波 515～1620kHz
	短波 5.9～18.5MHz
	调频 88～108MHz
电子管型号及数量	ECC85 1只
	ECH81 1只
	EF89 2只
	EABC80 1只
	EC92 3只
	EL84 4只
	ECC81 1只
	EM80 1只

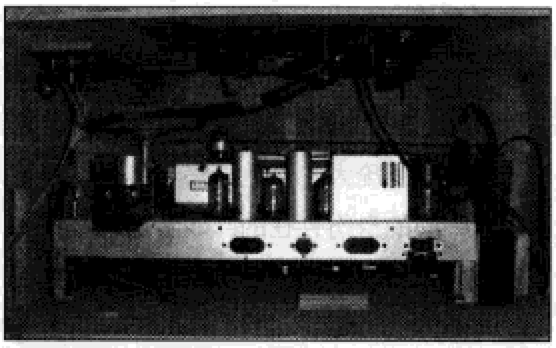


图5 主机芯和电唱机

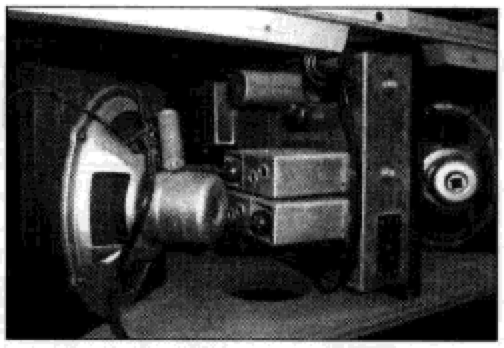


图6 副机芯和扬声器

第二低放兼推挽功放之前的倒相管采用EC92三极管，此管在德产收音机中经常担任多面手的角色。在此级之前的音调调节网络是Opus 7和Royal的精华所在。Royal的机芯与Opus 6相比，最明显的改进就在于增设了5个音色选择开关。在外观上，这一组开关是一排小按键，位于波段开关前面稍低一些的地方。这组开关的音色切换作用是通过将一个复杂的阻容网络接入输出变压器次级线圈和EC92管栅极之前的电路实现的。当然，在切换过程中也伴随着对原有音调调节电路的改变。设置音色选择开关的优点在于允许用户在不同音调的需求之间迅速方便地切换：清脆、低沉、高亢等。

概览Opus Royal主机芯电路的技术状态之后，我们再回到本机有特色的副机芯上来。仔细观察图6中副机芯所处位置，并回顾题图中全部后盖板装上时的状况，可以看出副机芯的散热不畅是Opus Royal Stereo内部布局的最大不足。毕竟，在刚从Opus 7衍生出单声道的Opus Royal时，在底部空间中唯一需要布置的只有全部扬声器，最多再加上几个分频电容。但是在发展到本文中介绍的立体声Royal时，Telefunken的工程师们就将整机长期可靠工作的希望寄托到德产电子元器件的良好耐热能力上，而没有通过缩减主机芯旁边的唱片存放空间来将副机芯安装在更易于散热的地方。最大程度满足用户需求的设计理念是否通过这一设计方案成功地实现了呢？从当时欧美社会生活水平的角度考虑，答案应该是肯定的。能够购买此机的用户通常都会装有空调，他们追求舒适生活的愿望保证了这些Opus Royal不会在炎热的环境中使用。

综上所述，在Opus系列的众多机型中，Royal并非一款完美无缺的产品，至少在一些设计细节上存在着可改进之处。然而，Opus Royal的技术特征既能匹配相应用户群体生活水平，也能满足此群体所处文化环境对于成功者身份和幸福家庭生活双重概念的基本认同。这就形成了珠联璧合的局面，为此机在无线电技术史上的重要地位奠定了良好基础。时代精神的需求、电子技术的发展、德国企业严谨敬业且尊重创造力的品格等诸多因素综合起来，才使Opus Royal这样的德产豪华机型在20世纪50至60年代的辉煌时期中精品迭出，成为凝聚着丰富文化价值的宝贵遗产。这些收音机的电路、元器件和制造工艺在科技高度发达的今天是容易复制的，但是，蕴藏在其中的时代精神和文化价值却无法复制，我们只能珍藏这些往昔的经典产品，作为对那个时代的纪念。

来到武汉的“上海”——上海系列7灯收音机小史

◇田浩

20世纪50年代的中国无线电工业发生了两个有趣的现象：其一是天津无线电厂生产的一款4灯机被命名为“北京”牌，其二是位于武汉的汉口无线电厂生产的一系列7灯机均冠名为“上海”。同期的北京无线电器材厂和上海广播器材厂也分别有品牌为“北京”和“上海”的系列收音机。接下来，本文将为您介绍武汉生产的“上海”牌系列收音机。

此系列机型的生产厂家原是上海国营无线电厂，根据国家发展规划，于1957年整体迁移到武汉，并更名为汉口国营无线电厂。此系列机型的品牌也先后使用过东方红、友谊、黎明和上海共4个名字，“上海”这一品牌在该厂迁移到武汉后才开始采用。现在，我们已经无法了解到该厂当时启用这一品牌的原因是出于对那个繁华都市故乡的思念，还是因为希望依靠上海的名气来迅速建立产品的知名度，亦或许两种原因兼而有之。尽管中国在品牌意识并不明确的计划经济时期有不少品牌重复的例子（例如“东方红”就曾被多地的不同厂家采用），但是以地名作为品牌而且在两个不同地区同时采用的做法还是少见而有趣的。上海市和武汉市的两个“上海”也因此成为中国无线电工业史上的一段趣话。

品牌、产地等常见的判断依据都不足以有效地判定一台收音机是否属于上海系列机型。此系列收音机的发展史在一定程度上代表着20世纪50年代中国无线电工业发展的情况：品牌和型号众多且复杂。有型号相同，但所用的电子管却不同的情况，还有用管和电路相同，但是机壳不同，型号也有区别的现象。判断一台收音机是否属于上海系列的成员，通常是依据下列的两个特征。

（1）在机芯布局及外观方面，并未采用国内常见的套轴，而是将音量、音调、波段和调谐分别采用4个相互独立的旋钮控制，并且大多数情形下采用这样的布置方式：音量、波段旋钮位于刻度盘前方，另外两个旋钮分列于机壳左右侧面靠近前下方的位置。

（2）在电路方面，采用和中频放大级用管相同的五极管（6K4或6BA6）作为音频放大级用管，是其最典型的特征。此外，如果有调谐指示管，则往往会采用6E5或EM11，而同期的其他国产机型多采用6E1作为调谐指示。

上海系列机型中的首型“东方红”电路曾经刊载于1956年第9期《无线电》上（见图1）。此系列的若干机型分别在人民邮电出版社1958年出版的《国产收音机（第一集）》和上海科学技术出版社1959年开始刊印的《国产广播收音机手册》上都有介绍。目前已知的上海系列机型情况如表1所示。

接下来，我们以其中具有典型外观和

图1 1956年《无线电》杂志对上海系列收音机首款机型的介绍

表1 上海系列机型概况

品牌和型号	用管	特点
东方红723-561	6BE6 6BA6 6AL5 6BA6 6AQ5 6E5 5Y3 或6A2 6K4 6H2 6K4 6P1 6E5 5Z4C	采用步进音调调节，调谐指示管置于刻度盘左侧后方
友谊722-551	同上	有电唱机
黎明721-553	同上	
上海621-561	6BE6 6BA6 6AV6 6BA6 6AQ5 5Z4C 或6BE6 6BA6 6AL5 6BA6 6AQ5 5Z4C	此机型也采用国产型号电子管，详见后文
上海621-571	6A2 6K4 6H2 6K4 6AQ5 5Y3	
上海621-572	6A2 6K4 6H2 6K4 6AQ5 EM11 5Z4C	
上海621-582	6A2 6K4 6H2 6K4 6P1 6Z4	机壳仿同期西德产品风格
上海622-581	6A2 6K4 6H2 6K4 6P1 6Z4	机壳仿同期东德产品风格
上海724-571	6A2 6K4 6H2 6K4 6AQ5 EM11 5Z4C	
上海724-572	6A2 6K4 6H2 6K4 6P1 EM11 6Z4	

图2 上海621-572收音机正面

电路的上海621-572为样本，详细分析一下上海系列机型的特色。

从图2可以看出，上海621-572的外观风格比较简朴、保守，前部上/中/下3根具有半圆形截面的横栏、表面纹理粗放的酚醛塑料旋钮都能给人以这样的感觉。值得注意的是，上海621-572的刻度盘上的民族风格装饰花纹是此机外观的出色之处，尤其是在刻度盘两侧的“上海”两字以书法体连写而形成装饰花纹，十分别致。

此机后盖板上的标识具有汉口无线电厂产品典型的简洁风格，除了标示电子管位置、显示各插口或引出线用途的图样和文字外，没有其他内容。

在输入回路及变频级，将3.8～12MHz的短波频率范围分成2个波段，以方便调谐选台的做法是值得称赞的，但是短波频率最高只有12MHz就未免有些遗憾了。除此之外，上海621-572的调谐系统机构也值得一提，如图3所示，此机在设计时遵循尽量节省机芯底板用料的原则，机芯没有侧板，向左右侧面伸出的音调电位器和调谐轴分别安装在支架上。尽管如此，在调谐轴上还是安装了一个不大的飞轮以改善调谐手感，这样的做法在同期国产机型中并不多见。上海621-572的主要参数如表2所示。

在中高频电路中，最引人注目的特色也许是富有个性的可调磁芯线圈，如图4所示，这种可调线圈具有大直径的塑料支架，在支架顶端嵌有黄铜螺母。可调磁芯是用磁粉固结在黄铜螺柱末端的一段圆柱，螺柱与支架顶端的螺母匹配，旋转螺柱即可调节磁芯在支架中的高度。调整到所需位置后，再用另一个六角螺母紧固螺柱。显然，这样的可调磁芯线圈是磁芯加工工艺处于初始阶段时的产物，其设计仍然保持着从无磁芯的胶木线圈支架时期延续下来的思路，磁芯及其调节部件被增加在原有结构基础上的痕迹十分明显。后来，有内螺纹的塑料支架和制成螺柱的磁芯出现，这种过渡模式的可调线圈就迅速消失了。

此机的中频放大级和变频级一样，在整体电路上并无特殊之处。所有的中频变压器也都采用和变频级可调线圈一样的磁芯。目前尚无确切的证据表明这种设计的部件是由汉口无线电厂独创，还是该厂向另一器件制造厂订购的。在汉口无线电厂后来生产的机型中，再未见到过这样的磁

表2　上海621-572主要参数

项目	参数	项目	参数	
总功率	55W	外形尺寸(mm)	535×250×340	
输入电压	220V，110V	扬声器口径	200mm	
输出功率	2W	电子管型号及用途	6A2 6K4 6H2 6K4 6AQ5 5Y3 EM11	变频 中频放大 检波 低频放大 功率放大 整流 调谐指示
波段	中波　520～1600 kHz 短波I 9.0～12.1 MHz 短波II 3.8～7.6 MHz			

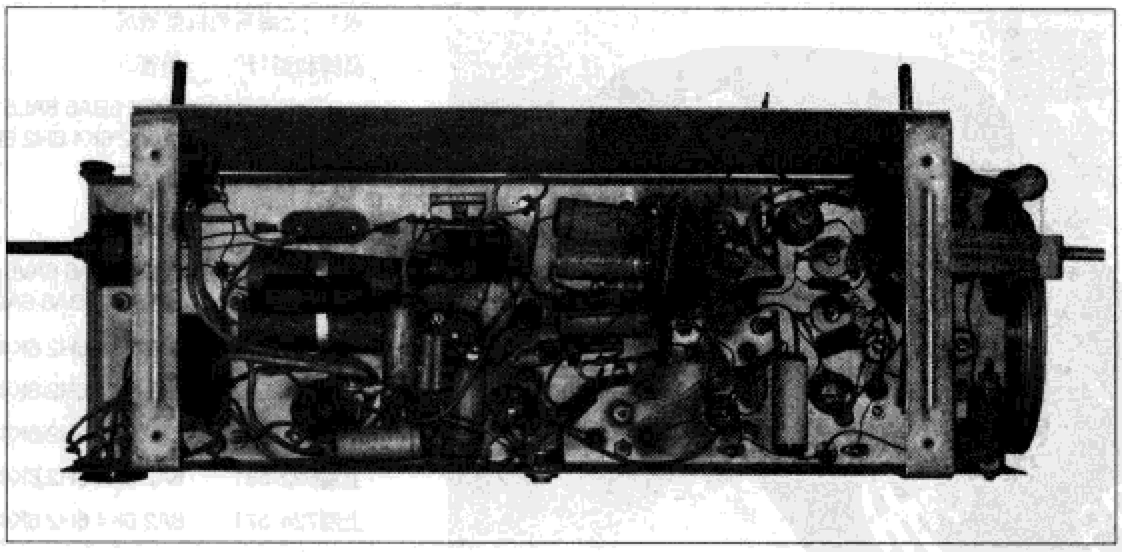


图3 上海621-572的机芯底部

芯设计，而同期国内其他收音机厂生产的机型中似乎也没有这种结构的线圈或中频变压器存在，更普遍的是采用无磁芯空心线圈与可调电容相配合的方式。根据这些情况来判断，这种样式的线圈、中频变压器和磁芯是汉口无线电厂自产自用的。

当时，国内收音机所用元器件正在完成从进口到全部国产化的转变，前文表1中上海系列机型复杂的用管状况就是这段转变时期的极佳实证。在这一时期，既存在着国内原有“天和”、“信记”以及“琴记”等一批老品牌扩大产能和增加产品种类的过程，也有一些器材厂全力研发生产器件制成整机的情况（上海131就是一个典型的实例）。本文中介绍的上海621-572所用电容大多来自上海，图3中机芯底板下方的照片可以证明这一点。

尽管上面已经提到了此系列机型的几个有趣的技术细节，但上海621-572与同期其他机型在技术上的最明显区别还是体现在检波级之后。首先，以6H2双二极管检波的做法往往只在那时的高级机型中可以见到。当然，这一设计与其说是上海系列收音机的设计者们希望将此系列机型发展为高品质产品，不如说是因为在检波级之后的音频放大级采用了五极管6K4，所以不得不另用二极管专供检波之用的缘故。前文已经提到过，此系列机型在电路方面的最显著特点就是音频放大级和中频放大级都采用6K4。通常认为将五极管用于音频放大有放大系数高的优点，可以向功放级提供更高的推动电压。

当然，在音频放大级采用五极管的做法并非上海系列独有，至少在国内，同一时期有北京的凤凰701型以五极管6J1作为音频放大之用，20世纪60年代后则有上海的飞乐272在音频放大级采用6J1。国产普通机型往往都会采用三极二极管6G2或双三极管6N1、6N2兼做检波、音频放大二职。一些高级的机型虽然会单独将6H2用于检波，但是在音频放大级一般都采用6N1或6N2。在中频和音频放大级采用同一型号6K4的上海系列收音机从此成为一段后无来者的绝唱。

此机的功率放大用管也富有个性。6AQ6是美国的电子管型号命名方式，此管虽然内核与国产6P1束射四极管完全相同，但却采用小七脚封装（6P1为小九脚封装）。那时，国内生产的6P1还在仿照前苏联进口管的型号命名方式被命名为6П1П。上海系列机型中采用的6AQ6等美国型号管究竟是从何种进口渠道获得，现在还无从知晓。不过可以确定的是，这些管子确实是一批数量有限的存货。在前文提到的《国产广播收音机手册》中介绍上海621型时，就提到了“在国产电子管未大量生产时，本机曾使用过若干种不同的电子管”。随后的一段描述全面地反映出了当时用管的窘境：

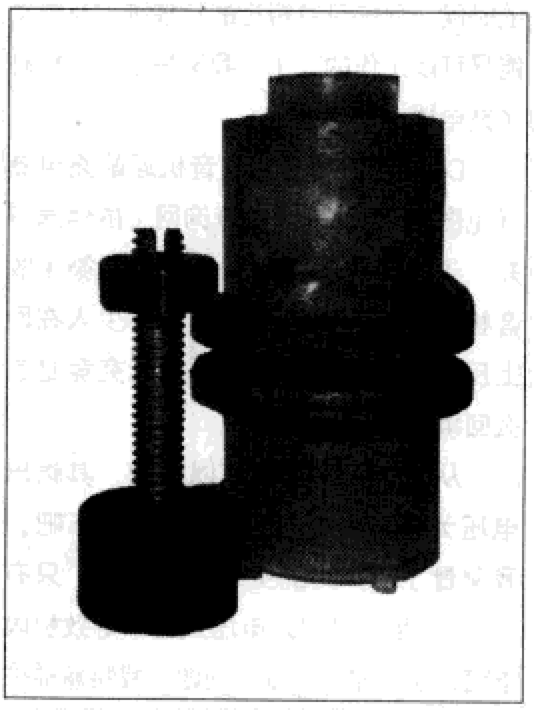


图4 上海621-572的线圈及其磁芯

“最早在1956年出品的621-561型是采用6BE6代替6A2П，6BA6代替6K4П，6AL5代替6X2П，其管座和电气性能完全相同。6П1П是用6AQ5代替，电气性能完全一样，但管座为7脚。6П4П是用5Y3（或5Ц4C）代，其中6AQ5及5Y3两管代用在621-572型中，在1956年生产的621-561型会使用6AV6代替6AL5。”

表1中也列出了上海系列机型所用电子管型号的复杂现象。出现这样的现象，在很大程度上是因为当年国家的元器件资源分配集中在北京、上海、南京等地，国内其他地区的厂家遇到缺少电子管等重要器件的问题时主要依靠自行设法解决。上海系列机型用管的多种多样，是那一时期地方收音机工业“自力更生，奋发图强”的真实写照。

从总体来看，虽然上海系列机型在性能和外观方面都并不卓越，但却具有鲜明的特色。重要的是，此系列机型的进化过程既在很大的程度上保持了自身特色的传承，其中每一具体机型的外观和电路设计方案又存在一定程度的改动而避免雷同。尽管这种改动往往存在着明显的探索成分（例如在外观设计方面），或者是因为元器件资源的限制而不得已为之（譬如电子管型号的选择），在“上海”全系列机型中体现出的“变与不变”仍然是我们研究收音机发展史的极好范例。George Basalla（乔治·巴萨拉）在他所著的《技术发展简史》中提到：

“技术史……是对不断进取的人们的多才和高产作见证，也是为世界上各族人民所选择生活方式的多样性作见证。以这种眼光看问题的话，可以说人造物的多样性是人类存在的最高表现之一。”（周光发译，复旦大学出版社2000年第一版225页）

这段话或许可以作为对上海系列机型的最佳评价。如果考虑到汉口无线电厂在搬迁到武汉以后生产出的一系列有特色的机型（除了这里的上海系列外，还有在今年早些时候的《无线电》上介绍过的卫星81Y、卫星31、东湖41等），也可以把上面这段话看作对汉口无线电厂的设计者和制造者们最好的怀念。

◇zhazha

德生收音机充电器DC-06改造记

很多HAM对无线电的兴趣是从小时候收听电台广播开始的，而且不少HAM也是广播爱好者甚至是收音机收藏者。德生与德劲这两个国产收音机制造厂商的产品在国内广播爱好者中有相当大的持有量，这两家公司被爱好者亲切地称为“二德”，可见它们在爱好者中的影响力。德劲1102、1103因提供了SSB接收功能被不少HAM关注和收藏，德生的PL系列的一些机型也加入了SSB接收功能，在广播爱好者和HAM中的保有量也不在少数。

笔者于2010年购入了德生PL-600收音机（见题图），后来在使用中发现该收音机的机内充电功能无法使用，具体表现为：设置好电池类型和电池容量之后，按充电按钮没有反应，或者充电很短时间（通常为几秒到十几秒）就停止，所以只能用充电器对电池进行充电。虽然这并不影响收音机的使用，而且用质量好的充电器对电池的性能有好处，但是毕竟该有的功能不能正常发挥作用，这让笔者不禁感到有些烦恼。

在发现问题之后，我首先怀疑是电池出了问题。电池是飞利浦1600mAh镍氢电池，我分别测量了几节电池的电压，结果这几节电池的电压都在1.22～1.27V，这说明电池完全没有问题。那么是不是充电器坏了？显然不是，因为在不装电池的时候，接上充电器，收音机是可以正常开机和工作的。那么为什么不充电呢？难道是收音机本身有问题？显然也不是，因为有的时候，哪怕只有短短的几秒钟，充电功能是可以工作的。于是我又把注意力放在了充电器上。

DC-06是PL-600收音机原配充电器（见图1），后来通过查询网上的信息得知，这款充电器还配备给了其他德生收音机使用，同时我查询到，不少人在网上反应我遇到的类似问题，这究竟是怎么回事呢？

从DC-06的参数可以得知，其输出电压为直流6V，那么就测试一下吧。我测量了DC-06的空载输出电压，只有5.25V。是不是因为电压太低，导致机内电路无法工作呢？就此问题，我特意前往德生售后服务中心进行检测，向售后服务人员反应了机器不充电和充电器输出电压低的问题，但由于当时我携带的电池电量非常充足，售后服务中心又没有充电电池，于是我被告知，等电量耗尽后再前去检测，这个问题就这样被搁置下来。

直到最近我又把PL-600拿出来，准备与新购买的德生CR-300DSP对比一下FM收听效果。且不论两个收音机的接收质量和听觉感受，PL-600不能充电的问题再次让我觉得有些遗憾。于是我决定无论如何先把充电器拆开检查一下再说（见图2）。拆开充电器后，我先把电路图（见图3）画了下来。

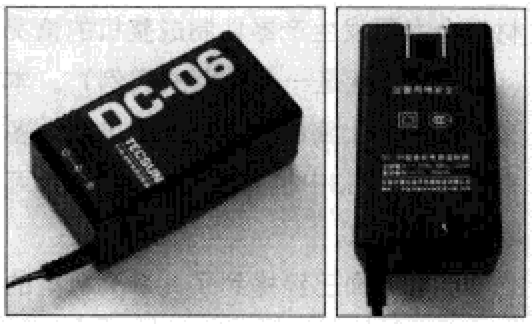


图1 DC-06电源适配器

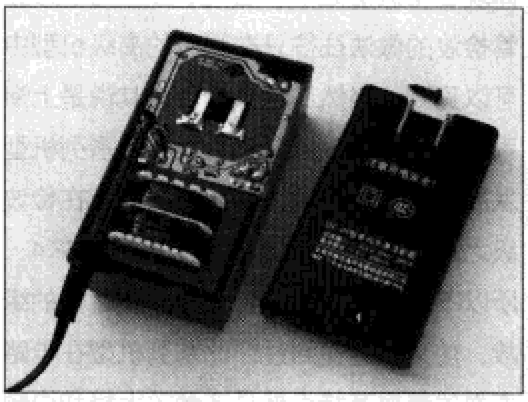


图2 拆开的DC-06

从DC-06的电路图中可以看到，其电路结构非常简单。220V市电通过工频变压器降压到8.7V，4只1N4001构成整流电路，整流后的直流电通过一只7806稳压后输出，在输出端串联一只LED作为通电指示。那么为什么输出电压会低至5.25V呢？我观察了一下，这只7806的外观不是很漂亮，似乎是便宜货，是不是7806有问题呢？我在7806的输入端接上了一个铅酸蓄电池的充电器（实测输出电压为15.38V），测量到7806的输出为

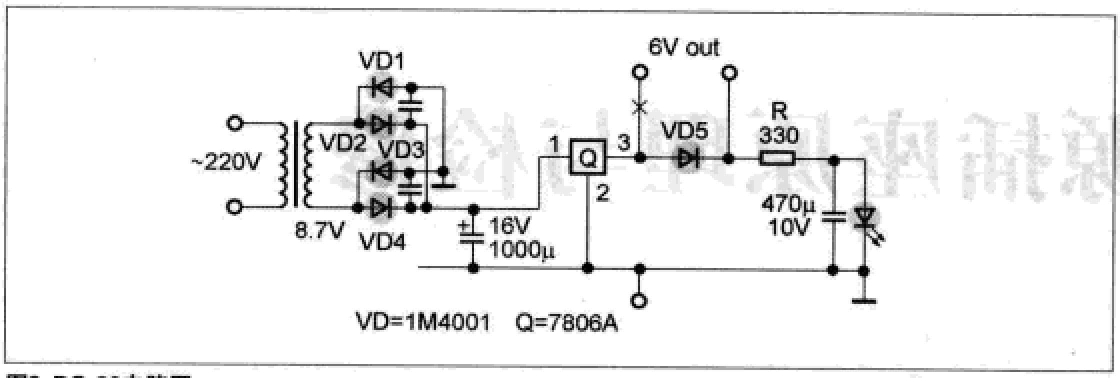
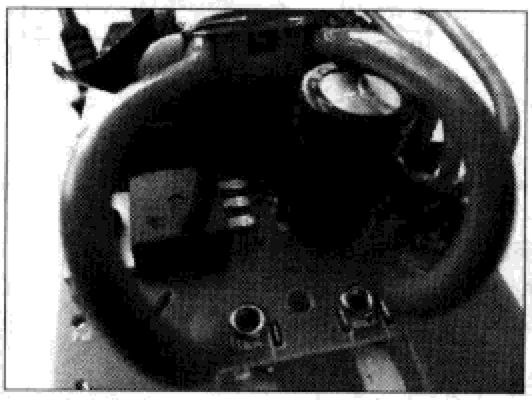
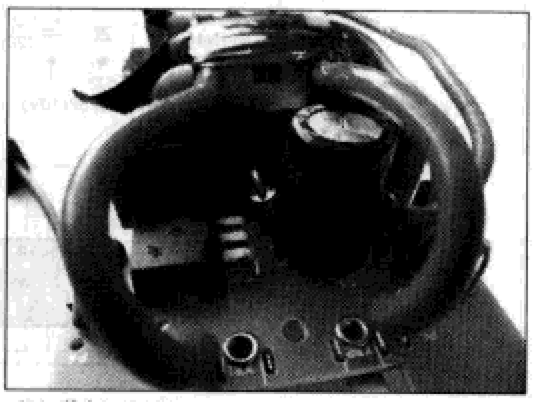


图3 DC-06电路图



(A) 改造前印有二极管标志的地方只有一根导线



(B) 装上了1N4007

图4

5.93V，这显然不符合规格。难道要更换稳压块？我回忆了一下，我的元件盒里没有7806，那该怎么办呢？

在电路图中，我注意到在电路的输出端连接了一个330Ω的电阻，电阻另一端连接了470μF滤波电容和作为指示灯的发光二极管。我想这部分电路，尤其是LED的存在会产生一定的压降。于是先把电阻的一端断开，看看会有什么结果。在初步改造之后，LED指示功能已经没有了，但这并不影响整个充电器的工作。经测量，这时的空载输出电压为5.65V，比改造之前提高了0.4V。即使这样，收音机的充电电路仍然不能工作。

于是我再次上网查询，仍然没有任何关于此问题的解决办法。关于这个问题的回答，几乎全是在教人如何设置菜单，没有人提到检测变压器的输出电压。但是事有凑巧，我在无意中找到关于德生PL-600收音机电路特点的内容，其中提到：DC-06的规格是6V、300mA，空载输出电压6.6V，300mA输出时的电压6.4V。这让我坚定地认为：输出电压是真正的问题所在。其中7806的GND引脚垫有一个1N4001，使之输出电压提高0.6V左右，达到6.6V。这给了我一些希望，经过检查，我手里的这只DC-06在7806接地端电路板上确实印有二极管的标志，但在这里没有二极管，而是简单地用一根导线直接对地连接。难道这就是问题所在？无论如何，我想试一试。

找遍了元件盒，结果我只找到了1N4007，但是我没有灰心，因为1N4007与1N4001是同一个系列的产品，区别在于1N4007的反向耐压值更高，结电容更小，可以看作是1N4001的“高级版”或“强壮版”，用它来替换，一点问题都没有。于是我把原电路上的短导线拆下，装上了一只1N4007，见图4。

通过这次改造，DC-06的空载输出电压提高到6.27V，接上收音机后，充电功能可以启动了。但是，在充电几分钟之后，我把收音机开机再关机，充电停止，按充电按钮后，只充了半分钟左右，充电自动停止了，而这时测量电池电压为1.29V，没有充满，显然是电压仍然偏低。那么有没有别的办法呢？我想一只4007可以把7806的电压提高0.6V，那么两只4007会怎么样？我想应该可以再提高0.6V吧。那么是串联还是并联呢？我想先串联吧，不会有什么损坏。接着，我把先前的4007的一支引脚切断，串联了一只4007。这一次DC-06的空载输出电压提高到了6.85V，果然起了作用。这次，我把DC-06连到收音机上，按下充电按钮，屏幕上的CHARGE闪烁起来，并且无论开机关机多少次，充电都不会无故停止。

这时我想起，曾经引起0.4V压降的指示灯被我掐断了，同时断开的还有输出端的滤波电容，如果恢复它们，6.85V会变成多少？能不能让充电电路正常工作呢？我把原来断开的电阻连接好，再次测量，DC-06的空载输出电压为6.44V，符合预期，但是没有达到6.6V。在这种情况下，充电电路能不能正常工作呢？经过测试，电池电压在1.35V时，充电过程会无规律地停止。看来，PL-600的确是在判断充电电压与电池电压的压差，充电电压还是偏低。

通过试验，我发现调整330Ω电阻的阻值可以影响输出电压，在反复测试后，我用一只标称3.9kΩ和一只标称5.6kΩ的电阻串联起来焊在这个位置上，它们的串联电阻为9.38kΩ，此时DC-06的空载输出电压在数字万用表上显示为6.60V，因为手中没有10kΩ的电阻，就不反复拆装了。

到此，对DC-06的改装已经完成，虽然内部两个串联的二极管和两个串联的电阻显得不太好看，但是这次改造既保留了LED指示灯的功能，又达到了使输出电压为6.6V的目的，所以改造结果近乎完美。

希望此文对使用DC-06充电器的德生用户有用，也希望以此文抛砖引玉，有更多的用户对PL-600充电问题提出更好的解决方案。

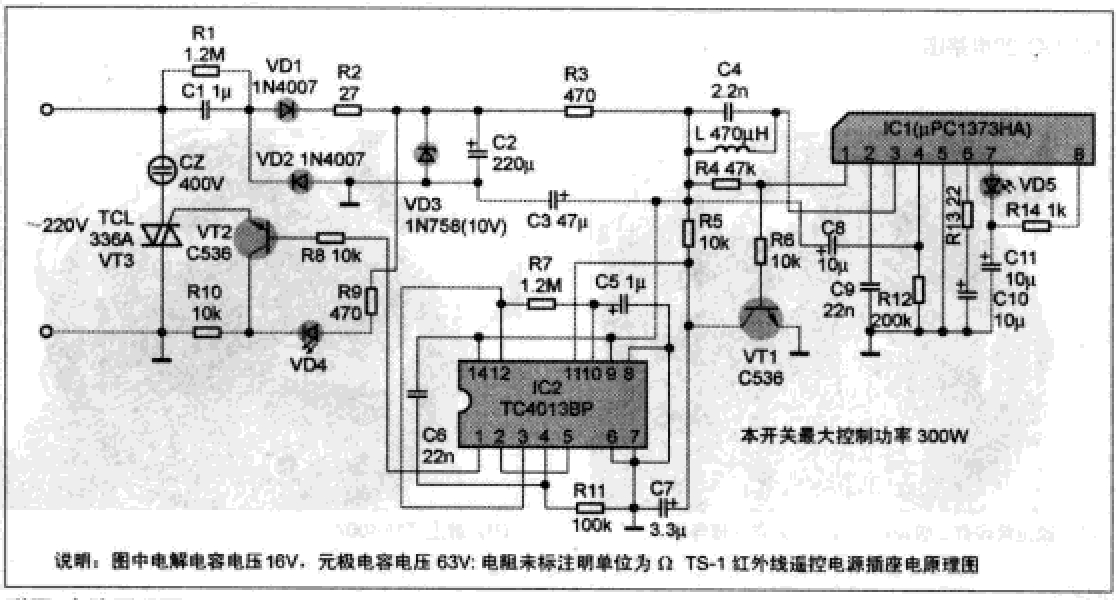
◇余俊芳

红外遥控电源插座原理与检修

市售的TS-1型红外遥控电源插座不附电原理图，笔者在检修该型遥控电源插座时，按印制板实物绘出了它的电路原理图（见附图，图中元件编号系笔者所注）。为帮助读者检修，下面介绍它的工作原理与常见故障检修方法。

工作原理

该红外线遥控插座主要由电源、红外线接收及插座电源通断控制三部份构成。在接通市电后，交流电经C1限流，VD1、VD2整流（交流电正半周时VD1导通，负半周时VD2导通），C2滤波，VD3稳压后获得10V直流电压。该电压一路经R9加至红色发光二极管VD4正极，另一路经R3进一步降压，C3再滤波后得到约5V工作电压。该电压一路经电感L滤除高频干扰后加至红外线接收IC1（μPC1373HA）电源端3脚，另一路直接送往双D触发器TC4013BP电源端14脚和9脚（2D）。当按下遥控器控制按键时，遥控器所发射的红外线被红外线接收二极管VD5接收后转变成电信号，由IC1的7脚送入IC内部，经整形、放大及译码后从1脚输出一组负脉冲信号，于是VT1的C极输出一组正脉冲，其触发信号加至IC2（TC4013BP）触发端11脚（2CP），因8脚（2SD）为低电平，10脚（2RD）、9脚（2D）接的是高电平。由TC4013BP的逻辑状态表可知，其输出端13脚（2Q）应输出低电平，即触发器Ⅰ触发端3脚（1CP）输入低电平，因2脚（1Q̄）与5脚（1D）相连为低电平，4脚（1RD）、6脚（1SD）为低电平，触发器Ⅰ的1脚（1Q）输出高电平，于是控制管VT2导通，双向晶闸管VT3导通，使插座CZ上的用电器得电，同时发光二极管VD4点亮，并维持此状态不变。如果再按一次遥控器控制按键，触发器翻转，1脚就会输出低电平，晶闸管关断，VD4同时熄灭，插座上的用电器停止工作。顺便说明：图中R7、C5及R11、C6是“上电复零”电路元件，对控制有一定的延时作用，故又称它们为控制延时元件。



附图 电路原理图

故障检修

该遥控插座故障主要有两种：一是输出插座上不能得电，二是不能关断对插座上的供电。检查时首先要确定是上述三部分的哪一部分发生故障，其步骤是：

先查IC1的3脚和IC2的14脚上5V电压是否正常，否则应对电源整流滤波系统元件进行检查。

若电源电压正常，在按动遥控器时测IC1的1脚输出电压应为1.5V且有抖动，否则应对遥控发射与接收电路进行检查。

当上述检测正常，可测VT1的C极电压（正常在3～4V），按动遥控器按键时，此电压也有轻微抖动。

若上述检查未见异常，可按动遥控器，测IC2的1脚电压，正常应在0V、5V左右跳变，否则说明IC2或它的周边元件有问题。

若IC2的1脚电压跳变正常，则说明问题在执行电路元件，比如VT2或VT3开路损坏，就会出现插座CZ上不能得电故障。反之，如果VT2或VT3出现短路性损坏，就会出现插座CZ上的电源不能关断故障。

不过，从维修实践来看，双向晶闸管击穿损坏导致插座上电源不能关断的故障比较常见，这主要是因为有的用户在插座上接的用电器功率过大或接有瞬时启动电流过大的用电器（比如彩电）所致。为了防止这种现象发生，可将VT3换成6A电流的，比如TCL366A。另外，如果遥控接收头损坏而配不到IC1（μPC1373HA）时，可直接用彩电上使用的三端一体化遥控接收头HS0038代替整个接收电路。此IC只有3个引出端，一个是+5V（电源），另一个遥控信号输出，接原来IC1的1脚输出端，再一个接地，替换十分方便。

◇王绍华

吸尘器工作原理与常见故障检修

不少吸尘器采用双向晶闸管无级调速电路，电路见附图。该型吸尘器具有结构简单、操作方便、价格低廉等特点，故在社会上有相当大的拥有量。下面简要介绍这款吸尘器的工作原理与常见故障检修方法。

工作原理简述

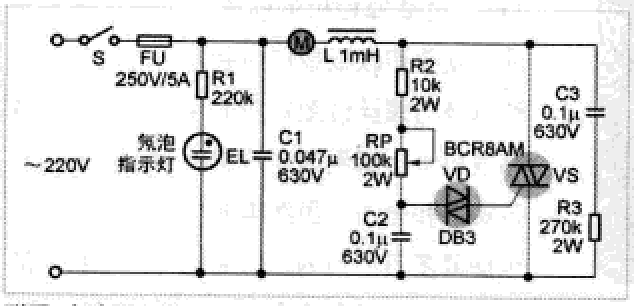
插上吸尘器的电源插头，打开电源开关S后，市电经电源保险管FU、电机定子绕组、电感线圈L、限流电阻R2、调速电位器RP向电容C2充电，当C2两端电压达到大约27V时，双向触发二极管VD开始导通，并触发双向晶闸管VS导通，于是吸尘器电机M得电运转。调节附图中电位器RP，可改变电容C2的充电常数，从而改变双向晶闸管的平均导通时间，进而达到调整电机转速的目的。附图中，C1和L组成滤波电路，C3和R3组成晶闸管过电压保护电路，防止瞬时高压将晶闸管击穿。

常见故障检修

该型吸尘器常见故障主要来自电气和机械两方面。

1. 通电后电源指示灯不亮，吸尘器不工作，也没有任何声响。

产生原因与处理方法如下：（1）电源保险管熔断，更换相同规格保险管，



附图 电路原理图

（2）R2或调速电位器RP出现开路性故障，检查确认后予以更换，（3）双向触发二极管VD或双向晶闸管VS出现开路性故障，检查确认后予以更换，（4）充电电容C2击穿，检查确认后予以更换。

3. 通电后电源指示灯点亮，吸尘器不工作，但电机有“嗡……嗡”声响。

产生原因与处理方法如下：（1）滤尘器破损，使杂物卡住风机，修补滤尘器，取出风道中杂物，（2）电机轴承严重磨损损坏，致使电机转子碰膛卡住，更换电动机轴承或更换电动机，（3）电源电压过低，调整电源电压至正常范围值（180～240V），（4）电机因受潮导致定子绕组短路，重绕定子线圈或更换电机，（5）电刷位置不在正常的中心线上，导致转子运转受阻，调整电刷至正常位置。

4. 吸尘器在使用中有异常声响发出。

产生原因与处理方法如下：（1）电机轴承磨损，使电机运转中有轻微扫膛现象，更换轴承，（2）电动机换向器表面凸凹不平或云母绝缘片滑出，磨平换向器，调整云母绝缘片至正常位置，用环氧树脂胶焊固，然后修磨掉多余的环氧树脂胶，（3）电刷弹簧压力过大，因而造成换向器运动阻力过大而形成噪声，调整弹簧压力或重新更换压力正常的弹簧，（4）滤尘器破损，使杂物进入风机，使叶轮或电机主轴变形，导致运转时有碰擦噪声，修理或更换滤尘器，校正或更换叶轮及电机主轴，（5）风机叶轮压紧螺姆及其它紧固件松动，紧固所有螺钉、螺母。

5. 吸力下降。

产生原因与处理方法如下：（1）连接管、滤尘器等装配不当，存在漏气，检查连接处，重新装好，并检查是否漏气，（2）吸尘器顶盖、中壳或与集成箱之间的密封不良，重新安装或更换已老化的密封垫，（3）电机轴承中缺润滑油，清洁轴承，并添加新的润滑油，（4）电机轴承磨损或轴变形等，排除电机机械性故障，（5）电刷松动移位，调整刷体至正常位置，然后紧固刷体，（6）定子、电枢绕组或换向器片之间存在不太严重的短路故障，测量其电阻或其绝缘电阻，查明原因后，予以排除，（7）压紧风机叶轮的螺姆松动，导致风机叶轮打滑，紧固螺母，压紧叶轮，

6. 吸尘器漏电或带静电。

产生原因与处理方法如下：（1）带电部份与金属外壳短路，应立即切断电源，检查并排除短路点，（2）吸尘器长期置于潮湿环境中，使绝缘性能下降，清洁吸尘器内部，用无水乙醇清洗电路部份，并加以烘干，使绝缘性能符合要求，（3）吸入金属屑或导电粉末，造成电路局部短路或漏电，清洁吸尘器内部的金属屑或导电粉末。

7. 通电后，吸尘器内部电机转速不能控制。

产生原因与处理方法如下：（1）调速电位器RP滑臂触头与碳膜因长期磨擦，而处于开路状态，更换新品调速电位器，（2）双向晶闸管VS击穿，使电机一直处于最高转速状态，更换耐压400V或以上，电流8A或以上的双向晶闸管。

◇刘福胜　王眈

佳能A95相机维修手记

笔者2005年7月购买的佳能A95相机，不久前出现如图1所示的灰白条纹故障，这不仅让我想起2006年初，索尼CCD因制造缺陷所引发的“网络风暴”，当时波及的品牌和机型极为广泛，A95也榜上有名，时隔6年，难道是“CCD”的魔咒再现？经过反复考虑，我决定对这台相机进行拆机维修，怎奈相机被拆到支离破碎之后，也着实令我眼花缭乱，既惊叹其工艺精密复杂，又庆幸操作中做足了功课，为相机修复和日后的还原做足了铺垫。

准备篇

1. 先行查询

经过查询得知，2005年前后出品的索尼、佳能、尼康、富士、理光、柯尼卡美能达以及奥林巴斯等品牌共计70余款型号的相机，皆因采用索尼2002年10月至2004年3月期间生产的有缺陷的CCD而“中招”。2006年索尼曾经发布公告称：在个别高温多湿的使用环境中，CCD图像传感器内部引线接合部位有时会有松动迹象，具体表现在拍摄模式下，由于信号没能从CCD正确输出，可能会导致“图像无显示”或者“图像变形失真”以及“保存的图像不正常”等多种怪异的故障发生。时至今日，笔者的相机总共拍照约3500张，况且笔者所在的地区既称不上高温也很干燥，却难逃厄运，具体表现为：显示屏图像清晰色彩艳丽，功能拨盘转换至摄像状态，也能录制良好的动态影像，唯独照相出片时满是灰白条纹。

参考其他人对此故障的解读，存在着两个截然不同的版本，除CCD故障以外的另一个描述，与本机故障十分贴切，那就是相机镜头内部光圈快门线折断，相机摄像时的光圈和快门都被固定，所以影像清晰，而拍照时因光圈快门线折断，导致曝光时间不准确，引发曝光过度，从而形成灰条纹照片。尽管故障根源尚存争议，但都指向镜头组件已无悬念。

2. 备足工具

工作台：明亮、清洁、干燥，周围保证无杂物和视觉死角。

工具类：用于精密产品拆装的多规格磁力组合改锥、镊子、抗氧化尖头电烙铁。

笔纸：碳素笔和用于做定位标记的白/黑颜色线号笔，A4纸多张，用于实时记录和粘贴螺丝。

牙签：用于拨弄软线压片和卡脚，避免使用金属锐器，因用力失衡而刺伤划破印制软线。

图1 出现的灰白条纹故障

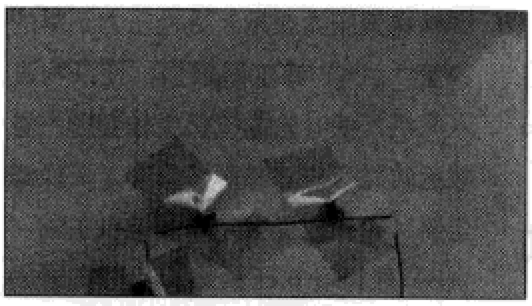


图2 记录各部件位置（笔者的特殊方法）

3. 拆解流程

笔者自认为操作经验丰富，但解剖数码相机还属首次，而且是在无参考资料提示下，拆卸到相机中最为精密复杂的镜头组件时，着实有些底气不足，手中改锥就是在忐忑中旋下了外壳的第一颗螺丝钉，拆解笔记、照相和粘贴螺丝也要同步进行，并确保详实、准确无误。A95的镜头组件深藏在华丽机身的最里侧，所以必须进行深度拆解。首先，旋开外壳、电池仓内以及CF卡内的所有螺丝，同时，在A4纸上简单勾画出相机外壳形状及各螺丝拆取部位，并用透明胶带将拆下的螺丝粘牢在手绘图中对应位置，见图2，此举帮助手感生疏的电子产品修理者尤为有效，优点显而易见：既不会遗失螺丝，更不会在回装时上错螺丝或者漏装螺丝，同时，依据纸角边缘注明的拆卸序号，就能唤回你曾经操作的每一个步骤，让自信始终充满你的头脑。

图3（a）、（b）分别是拆除后壳和前脸的相机，当然，这还远未到取出镜头那让人振奋的一刻，层层重叠的排线，就像包粽子一样将镜头组件深藏在机身内。拆卸过程循序而进，拆掉取景器，粘上螺丝2颗，拆掉闪光灯支架，粘上螺丝1颗，再拿掉相机的前脸。每分拆一套部件，就要用软纸或信封装好，外皮标注名称以及与螺丝位图对应的序号，依拆卸顺序摆放。拆解到闪光灯组件时，务必要防范短路和电击，虽然电池早已取出，相机也搁置多日，但闪光灯储能电解电容中的高压电力未必会完全耗尽，意外的触碰，

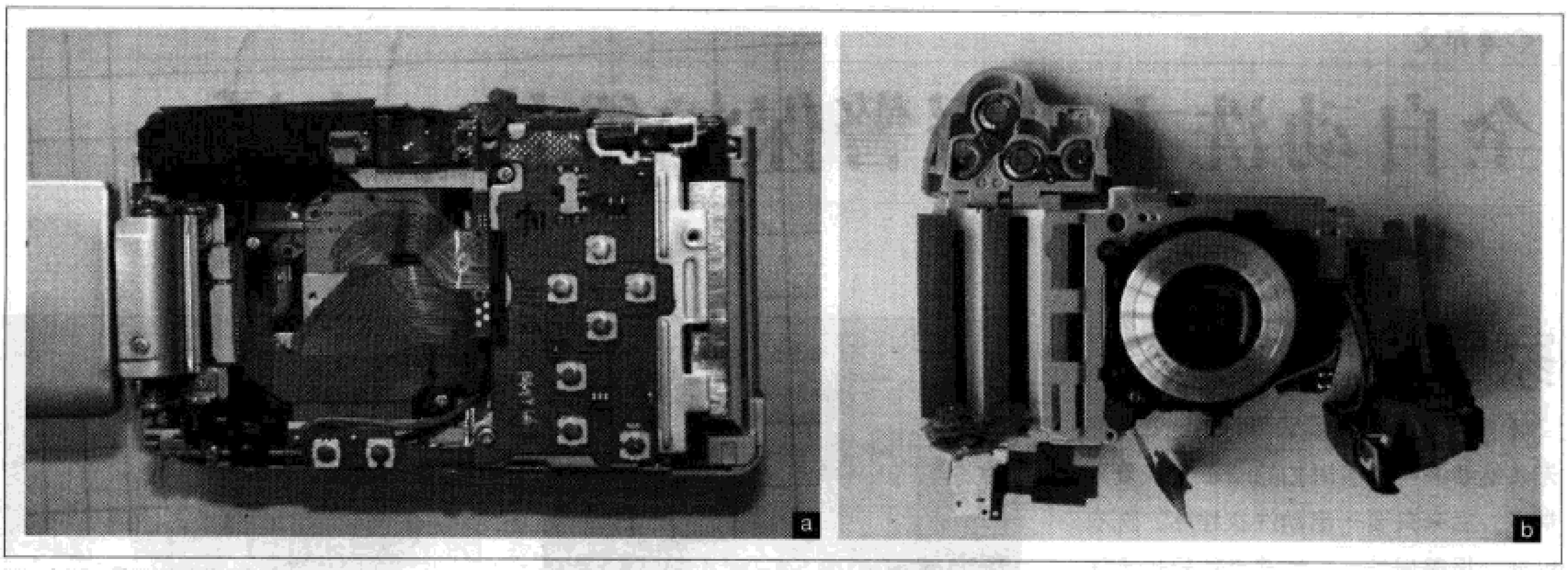


图3 拆除后壳和前脸的相机

有可能遭受电击亦可能会烧掉相机主板，损失无法估量。所以，储能电容的引脚应及时用绝缘胶布包裹，以防患于未然。

去除了闪光灯对镜头组件的束缚，此时，再旋下固定镜头的3颗螺丝，镜头组件终于暴露在闪光灯下，见图4。对相机而言，无论是价值比还是复杂程度，镜头组件都堪称相机中的灵魂所在，卡片机和消费类相机的镜头后部就镶嵌着所谓“相机的眼睛”——图像传感器。佳能A95相机采用如图5所示的1/1.8英寸、500万像素的CCD图像传感器。在像素至上的今天，这已经是羞于出口的数字，但是，我有必要澄清一下选购数码相机的误区，只要你留心就会发现有几款消费类相机，如佳能G1X和G12，高达4850和3650元的标价，甚至比一般的单反和单电相机都贵。玄机之一就是18.7mm × 14.0mmCMOS和1/1.7英寸的CCD图像传感器，给足了“G系列相机的面子”，配合高性能DIGIC 5影像处理芯片提升画质，所以才有了敢和单反相机较量的底气。在影响相机成像质量的因素中，像素的多寡仅是一个考量因素，感光元器件的面积也是一个重要的因素。

维修篇

虽然拆下了相机的镜头，也终于看到了这片薄如蝉翼的快门软线（见图6），嵌套在两层镜头中间精密狭小的空隙中。拍摄过程中频繁伸缩对焦，尤其在冬季低温地区使用，极易僵硬而折断，从而导致相机快门不能按照准确时间曝光并及时关闭，似乎抓到了灰白条纹的真凶。我迫不及待的网购并更换了快门线，结果开机显示E18代码（镜头故障），这如同给我浇了一盆冷水，我又重新装配一次还是以失败告终，迫不得已购买了一只镜头（不含CCD）更换。但是忽然发现，二手镜头CCD前面缺少一片主要用于消除摩尔纹的“低通滤镜”（见图7），无奈之中又操持烙铁把原镜头的后部换上，再装上原机CCD，一番大动干戈之后，白条纹依旧存在，尽管有些沮丧，但更坚定了我对真凶的追剿。

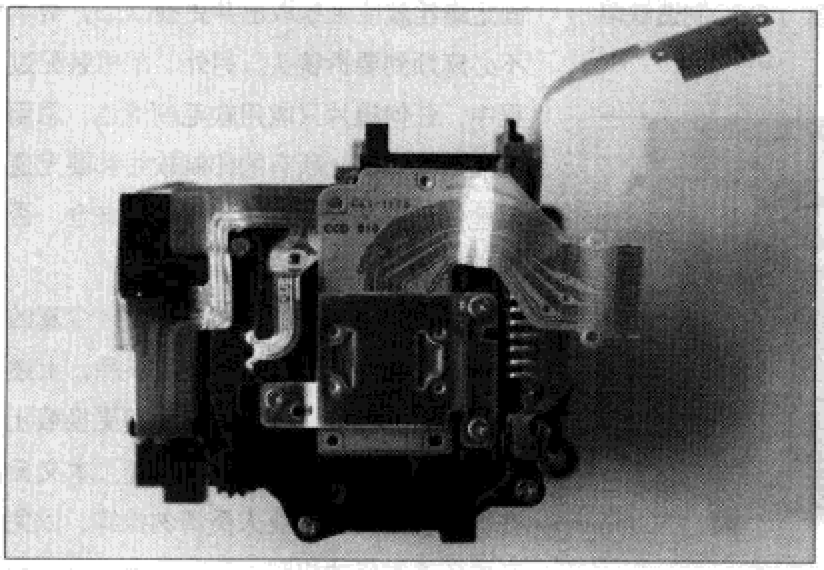


图4 镜头组件

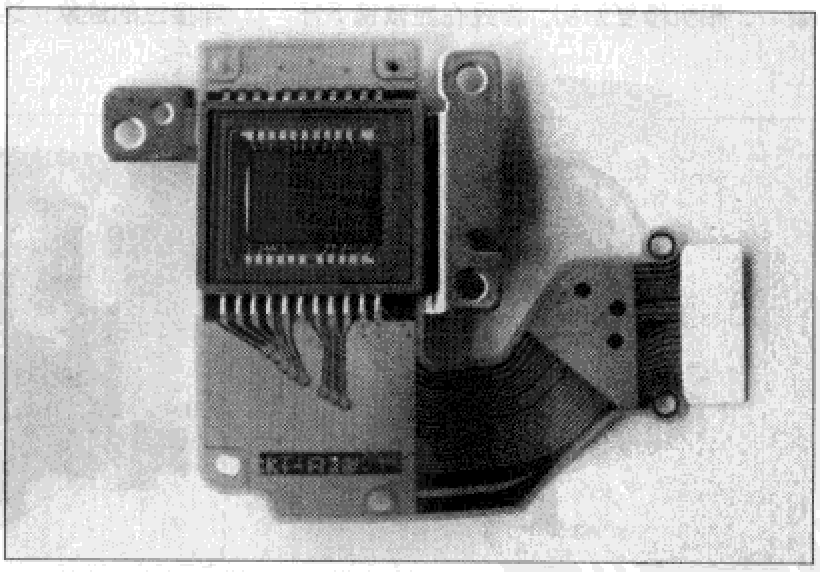


图5 佳能A95相机采用的CCD图像传感器

◇潘邦文

全自动洗衣机报警保护维修一点通

家用惠而浦B550D全自动洗衣机经过长时间使用，近日时不时地发出“嘀-嘀-”的警报声，设置好的洗衣程序无法继续进行，有时拍打一下又恢复正常了。后来只要一启动洗衣程序，洗衣机就会报警保护，任凭笔者拍打也无法恢复。

笔者决定自行维修，于是三下五除二地把洗衣机大卸八块，并将所有电子配件检测一遍，但没有发现问题。

正当笔者一筹莫展的时候，突然发现洗衣机上盖板上的金属片已被水浸湿，而且严重锈蚀（见图1）。笔者反复打开、关闭上盖板，发现关闭上盖板时，金属片所顶压的微动开关没有发出“咔哒”的响声。但用手按动微动开关的按钮时，微动开关可发出“咔哒”的响声。原来，这个开关是作为揭盖保护用的：洗衣机运转的时候，当上盖板打开，微动开关断开，主电机停转，刹车机构动作，保护使用者的安全，合上上盖板后，金属片顶压微动开关，微动开关闭合，洗衣机按设定程序执行任务。平时洗衣完毕后打开上盖板，上盖板上的水珠就会滑落到金属片上，金属片长年被水浸渍、锈蚀，弹性下降，就无法压合揭盖保护微动开关，于是就出现文章开头的情况了。

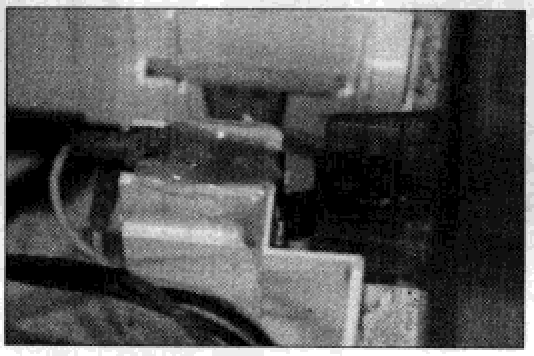


图1 锈蚀严重的上盖板上的金属片

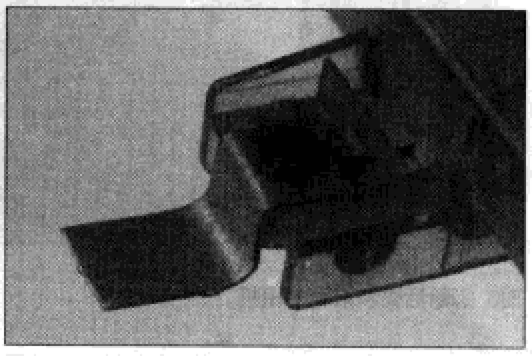


图2 加工后的金属片

找到故障的根源，问题就好解决了。笔者从电脑机箱上拆下一块卡槽挡板，经裁剪、折弯、打孔，加工成上盖板原金属片的形状（见图2），替换后合上洗衣机上盖板，揭盖保护微动开关正常压合。至此修复完成。

苦等5天，收到了最后的救命稻草——号称改良型永不会坏的CCD图像传感器。好事多磨，A95终于擦亮了“老花眼”，相机修复如初。曾经在显微镜下仔细分辨这两块CCD的差异所在，结果发现，所谓改良的CCD密封玻璃窗有明显封装的胶印，内部CCD引线结合处均有再次焊接过的迹象，这也证实了CCD制造缺陷的存在，并且还知道了CCD是可以维修的事实。当然，如果维修之初就直接确定并更换CCD，只要打开相机后壳，旋下3颗固定螺丝就能轻松取出并更换CCD，根本不必麻烦到要拆镜头。另外，相机装配过程中，任何镜片只能用软毛刷清洁，忌用工业酒精擦拭。所有的印制软线都要无遗漏地仔细安插到位，并扣合存储卡仓，否则相机亦不会被开启。

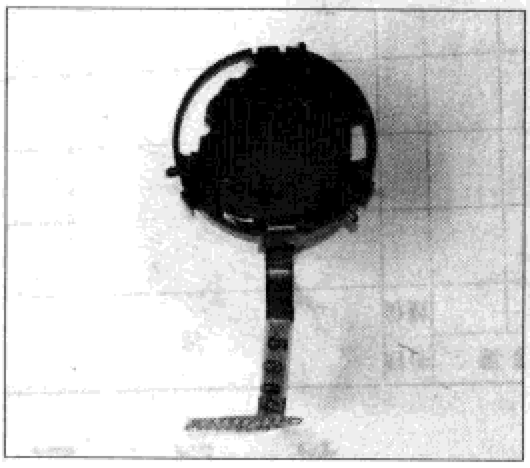


图6 薄如蝉翼的快门软线

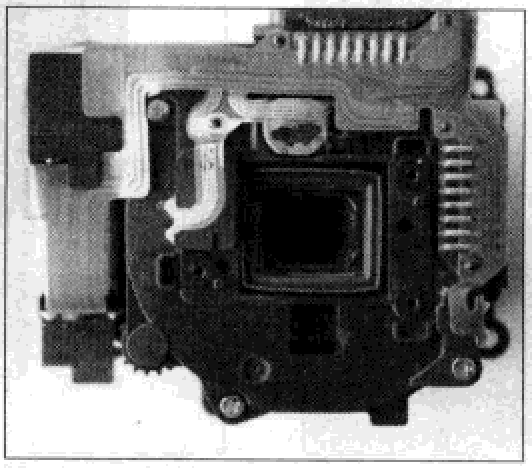


图7 CCD前面缺少一片低通滤镜

相机的修复一波三折，最终才令真凶现身。事后拨打400服务电话获悉，上述年份购买的相机，故障CCD免费更换截止到2012年末期，在此提醒读者，本文旨在抛砖引玉，非专业人员请勿操练，以免丧失免费维修的权利。

◇金克华

自己动手修理语音复读机

笔者接收、维修过不少中小学生或学生家长送来的语音复读机（简称：复读机）。目前，中小学生很多都要使用复读机，所以复读机的损坏、返修率也越来越高。而这些损坏的复读机，又较难找到电器维修部门进行修理，之所以鲜有人进行修理，笔者分析主要原因：一是维修利润低，二是维修起来费事、费时，三是维修配件少或者没有。那么笔者今天就以修复清华同方DPA-528G型复读机为例（外形见图1），介绍一下如何自己动手维修复读机。

笔者在维修中发现，复读机的损坏多数是由皮带的老化、打滑、脱落、断裂或磁头引线折断等原因引起的。如果顺手将损坏的复读机扔掉，真是有些可惜。其实中小学生不但自己动手就可以修复成功，而且还能从中学到在课堂上学不到的知识，并且能够锻炼动手和观察能力。当自己亲自将复读机修好时，会有一种无法用语言形容的喜悦，又能增加学习乐趣。下面笔者只用简单工具以及实际又直观的检测维修方法对这台损坏的复读机进行维修。

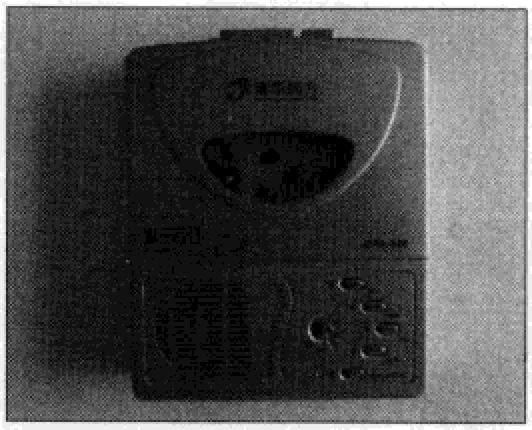


图1 有问题的复读机

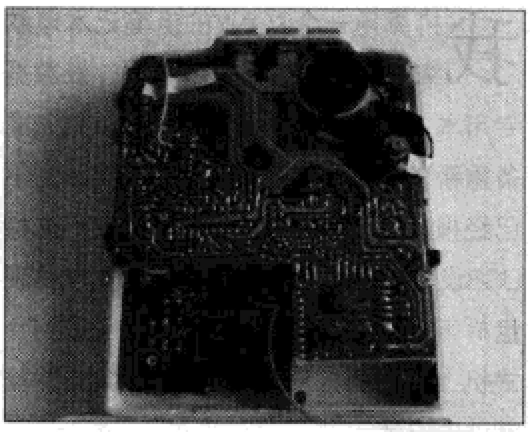


图2 拆开复读机后盖

注意：在拆机器之前，每拆一步最好用相机拍照或用笔临时绘出平面的草图，避免在安装还原时忘记位置。

首先，将复读机的电池取下来，露出两个螺钉，用小十字螺丝刀逆时针旋转取下来。同样，将后盖明面上的4个螺钉（其中一个贴有封条纸，如果没有过质保期时，不能动此封条纸）拆下来。小心地将后盖打开翻过来，后盖的里面有个电池的“+”极引线与电路板相接，注意不要折断。当打开后盖后就可看到两条皮带，一长一短，一里一外（见图2）。如果皮带有脱落，将其还原，装上磁带试机，如果正常，重新将皮带拆下，在皮带上涂少量的松香粉（目的是防滑），再将其还原，装上磁带试机，便可一劳永逸。

松香粉可到市场上买乐器用的松香，取出一小块，再用厚纸将小块松香夹中间，用手或小十字螺丝刀手柄顶捻碎变成粉。

如果皮带没有脱离，可试机观察皮带轮是否旋转，电机皮带轮是否有空转打滑现象。多数电机皮带轮打滑的情况，同样可采取上述方法处理。

如果试机没有声音，多数是放音磁头引线折断引起的。判断方法：可将磁带仓盒盖打开，按下放音键（不放磁带），就可以从缝隙看到放音磁头引线是否折断，也可以用手指触摸磁头的轨迹几次（将音量开到最大），在正常的情况下就能听到“嘟嘟”声。若折断，可用电烙铁（20~30W尖形）重新焊接即可。

机芯的拆卸方法是：首先拆下电路主板上的一颗小螺钉，再将固定小电路板的两个小螺钉拆下来，小心移动两块电路板，使机芯4个角的固定螺钉逐步露出（见图3），用右手拿机芯的小电机，将机芯小心外掰，并同时向下拉出来，左手将机器外壳按键轻轻向上外掰（或将机芯按键拔掉后，取机芯更容易，但一般不建议这样做），即可取出机芯。

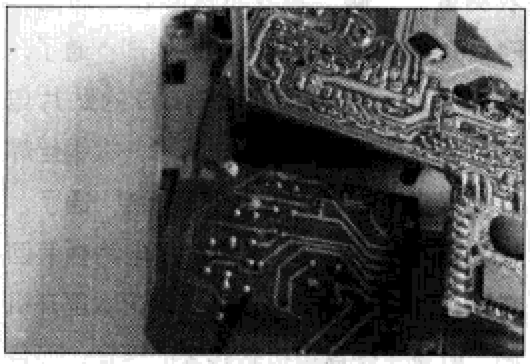


图3 拆解电路板螺钉

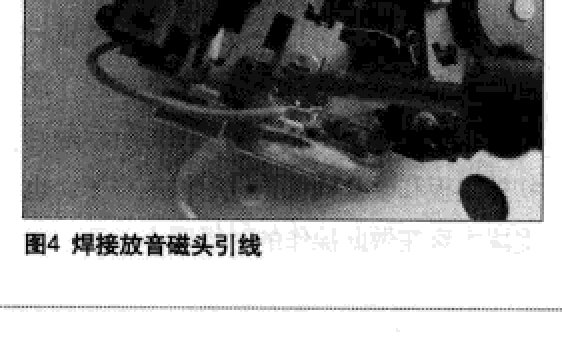


图4 焊接放音磁头引线

注意：所拆下的螺钉一定按顺序摆放，方便后期组装。

当取出机芯之后，用25W的尖形电烙铁焊接放音磁头引线（见图4）。

焊接完成之后，问题基本就可以得到解决，之后按照拆卸的顺序，反装回去，复读机基本就修复完成了。

◇蒋政森

笔记本电脑硬盘复活记

我打算用一个SONY的老笔记本电脑拿来做阳台工作室的编程、查数据专用本，但是因为机器老旧，所以首先准备重新装系统。不过因为笔记本电脑光驱已经报废了，而且SONY的老本又不支持USB设备启动，所以只有把笔记本电脑硬盘拆下来（见图1），装上转接卡接到台式机上面，再把XP的GHOST镜像文件复制进去安装。

接上转接卡，插在台式机IDE线上，我也没仔细检查就上电开机了。瞬间闻到一股糊味，赶紧断电检查。不看不知道，一看吓一跳，原来笔记本电脑硬盘和转接卡插错位了，转接卡往左移动了一位，转接卡上倒数第二根铜箔已经烧断了（见图2）。立刻把硬盘回装在笔记本

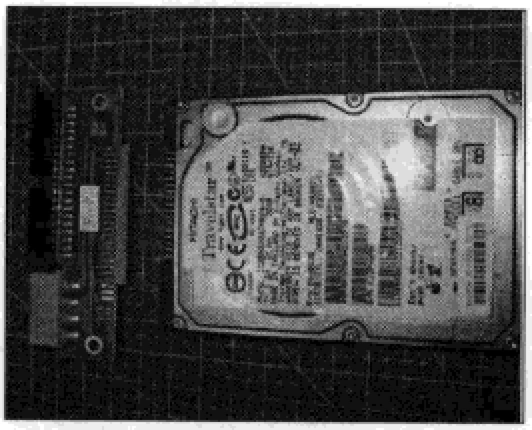


图1 拆下硬盘准备安装系统

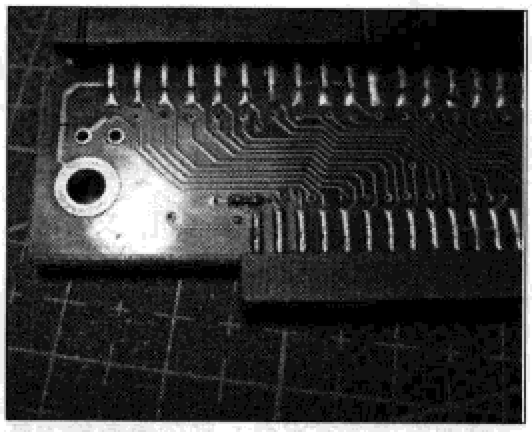


图2 转接卡烧坏

电脑上测试，悲剧啊，已经检测不到硬盘了，电机也不转，更别说寻道自检的声音了。这下心头“哇凉哇凉”的啦，硬盘虽然便宜，但上面还有我的几个没写完的程序和一些资料呀。

擦干眼泪，痛定思痛，准备解剖硬盘“尸体”，看看什么芯片损坏了。拆开电路板（见图3）后，几大IC没看见明显烧坏的痕迹，用鼻子嗅嗅，也没有明显的焦糊味道，可能还有戏。于是把目光放在接口附近的电路上，突然有个丝印标识进入我的视野——标识为F1的贴片保险管。仔细看了一下整块电路板，有F1～F5共5个贴片熔断保险管，接口处有3个，主轴电机处有2个。心中一亮，赶紧拿出万用表测量，“嘀”声表示保险管是通的，F1～F4都是如此，到F5的时候却不通了，看来有戏！因为手头没有0Ω的贴片电阻，所以从多股电线里面拆了一根铜丝焊接上（见图4）。用万用表测量，通了，F5修复后如图5所示，然后将电路板装回盘体，怀着忐忑的心情装进笔记本里开机后，听见了硬盘电机转起来的声音，而且自检的时候也检测到了硬盘，顺利进了系统，经测试一切正常！

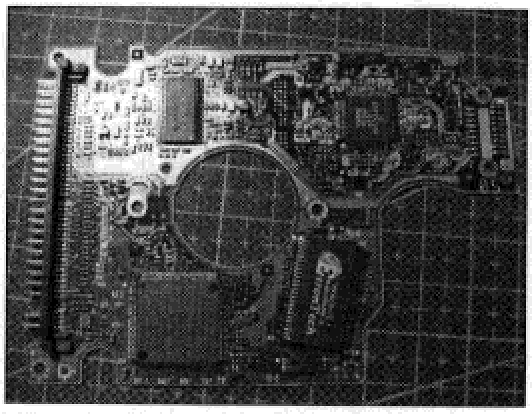


图3 硬盘电路板

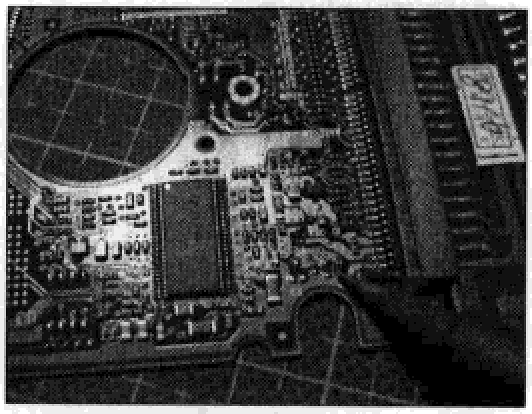


图4 F5处用用一根铜丝代替

至此，维修告一段落，成功复活了这个硬盘。因为这种设备一般在低阻输入端都会有保护电路，一般可以先试着检查一下这些保护性元件是否有损坏的情况，说不定会有意想不到的收获。图6所示是当初转接板和硬盘插接错误时候的样子。也提醒大家在做此操作的时候要小心哦。

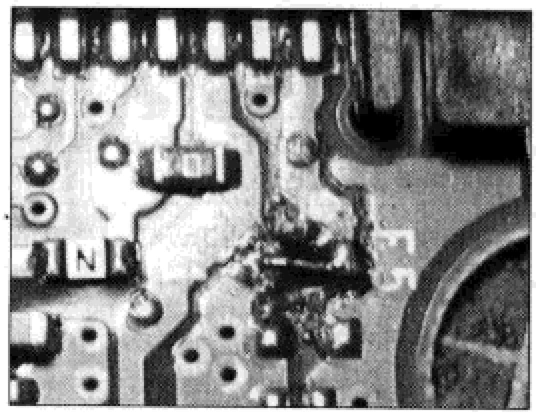


图5 F5修复完成

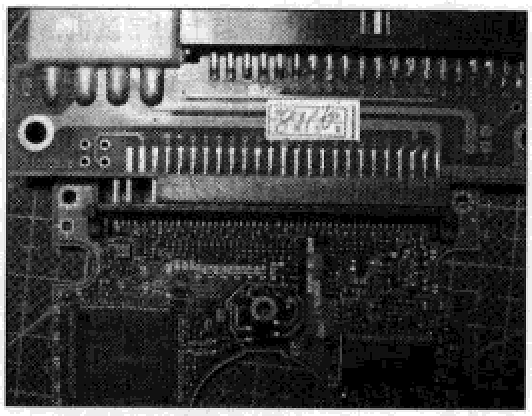


图6 插接错误的样子

◇潘志浪

日立V-1565示波器维修手记

本人的一台日立V-1565示波器前段时间在使用过程中突然出现了一些问题，刚开始表现为直读的游标及字符显示有些抖动，但通电时间稍长就会稳定下来。刚开机时抖动不太厉害，字符和游标的晃动位移不到半个字符位，晃动速度也很慢，基本上不影响使用。起初以为是内部受潮，多烤下机就好了，哪知道我又用了一段时间，字符显示晃动的问题越发严重了，具体故障表现如图1所示。直读信息完全重叠在一块，无法看清，但是波形显示却基本上是稳定的（事实上水平宽度也有问题，如图1中所示是1kHz测试信号，一屏本来应该显示5个周期的，却有5个半周期，但我开始没有注意到，以至于后面走了弯路。

日立V-1565是一款2通道的100MHz带宽的模拟示波器，具有CRT光标直读和频率计功能，并且能一键自动设定时间及完成同步，体积也很小，使用起来非常方便。笔者学生时代就接触到了这款示波器，用得最顺手的也要数它了，当然现在数字机普及了，这款模拟示波器就显得有些落伍了。但它在二手市场还是非常受欢迎的，它的口碑很好，质量可靠、返修率低、简单易用，而且价格也很便宜（货源足嘛）。出于这些原因，还有怀旧，我就买了一台，但没想到却“中奖”了。

由于是日立的老机型，还是二手的，售后服务比较麻烦，就只有先试着自己修了。在网上搜了下，没有发现类似的案例，不过倒是找到了比较详细的电路图和维修手册，这下问题就简单多了，我花了几天时间把电路图粗看了一遍。

目前故障的表现是字符水平方向上紊乱了，但波形显示又是“正常的”，因此我怀疑在字符和波形X轴的切换电路上有问题，首先检查切换电路（见图2）。

图中的三极管TR863、TR865、TR867分别是X1时间模式、X10时间模式、字符显示模式下X轴信号放大电路的电流开关。它们设计得很巧妙，通过反相器及三个PNP管发射极并联的方式，可以保证其中任一个三极管开启，剩下两个都是关闭的。为了确认这部分电路是否正常，我量了一下3个管子公共部分的电压，为11.8V，正常。再特意断开三极管TR867基极的控制信号，飞线拉低它的基极电压，开机测试，这时波形消失了，只剩下字符和游标，这在我的预料之中。此时字符显示一点都不抖了，不过水平宽度只有原来的3/4，因此我推断字符生成电

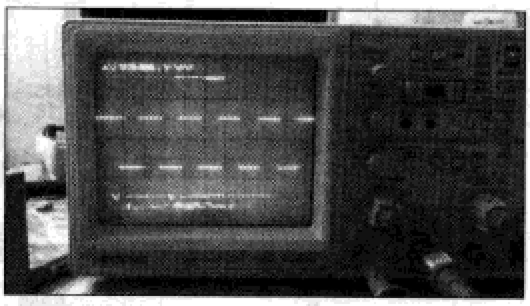


图1 故障表现

tips

这里我顺便提一下这种带游标直读的模拟示波器的显示原理：其大部分时间是工作在普通波形显示状态下的，和普通模拟示波器一样，但每隔很短的时间会通过描点的方式显示字符及光标信息，类似于LED点阵屏的显示。同时为了不影响波形显示，经过一定的时间间隔，又会切换到普通波形显示模式，由于荧光屏的余辉效应和人眼的视觉残留特性，能同时看到波形和直读信息。

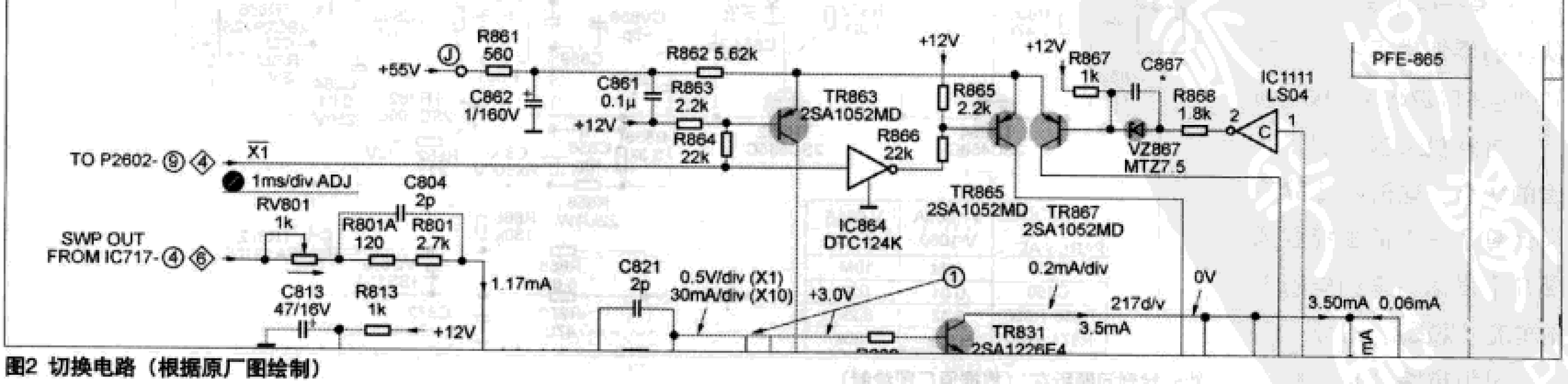


图2 切换电路（根据原厂图绘制）

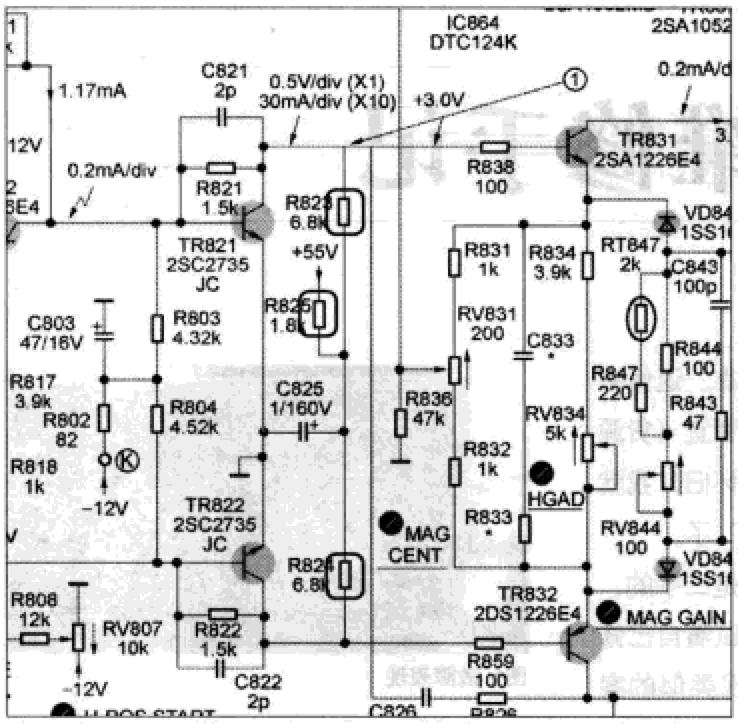


图3 疑似有问题的电阻（根据原厂图绘制）

路是正常的，问题应该是出在波形和字符混合前的放大电路上。主板的上有几个电阻很热，至少有50℃，这更加坚定了我的判断。于是对这部分电路上的元件挨个进行测量，稍有点怀疑再取下来单独检查，特别是电解电容更是不能放过一个。但始终没有进展，仿佛进了死胡同，而且中途还出现一个很严重的问题，在一次拆装之后上电，发现屏幕显示只剩下不到一格宽的竖条，波形等其他信息都看不出来了。仔细检查了一下，发现X轴扫描信号在混合前的一级放大电路上的三极管TR831有一极击穿短路了。从我的零件堆里找了个不知型号的PNP贴片三极管换上，再开机又恢复到了开始的状态。这时我冷静下来计算了一下前面提到的那几个发热厉害的电阻上的电流（见图3、图4）。

因为电路结构对称，可以认为R823和R824上电流相等，又因为①点电压为3.0V，电源电压55V，所以R825上的电流 $I=(55V-3V)/(R825+R823//R824)\approx 10mA$。实测值也是这样的，因此几个电阻耗散的总功率 $P=\Delta U\times I=(55V-3V)\times 0.01A=0.52W$，确实有点大，所以这几个电阻发热应该是正常的。

因为在X轴信号混合前的电路上一直没有发现问题，我检查了一下混合后的X轴的后级放大电路，这部分电路在另外一块板PEF－784上，而且这部分电路是带有110V高压的，检查的时候要注意安全，我用另外一台示波器量了一下这部分电路的输入和输出波形，因为这部分信号是以X+、X-的差分形式出现的，因此两路都要检查。我发现输入信号X+和X-中夹杂的字符信号幅度基本上是稳定的，但输出信号中有一路字符水平信号明显有随着波形的时间扫描信号变化的趋势。本来差分信号两路相减应该能抵消

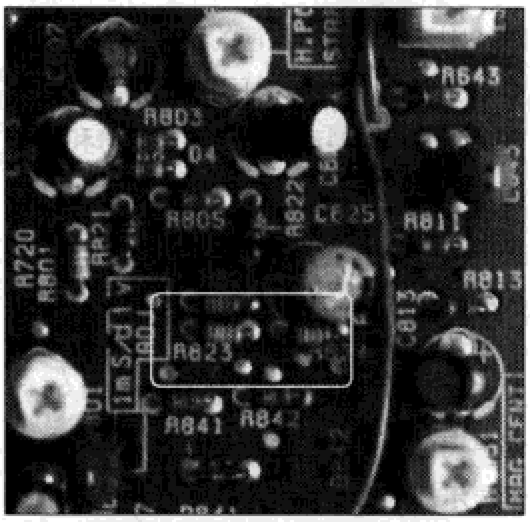
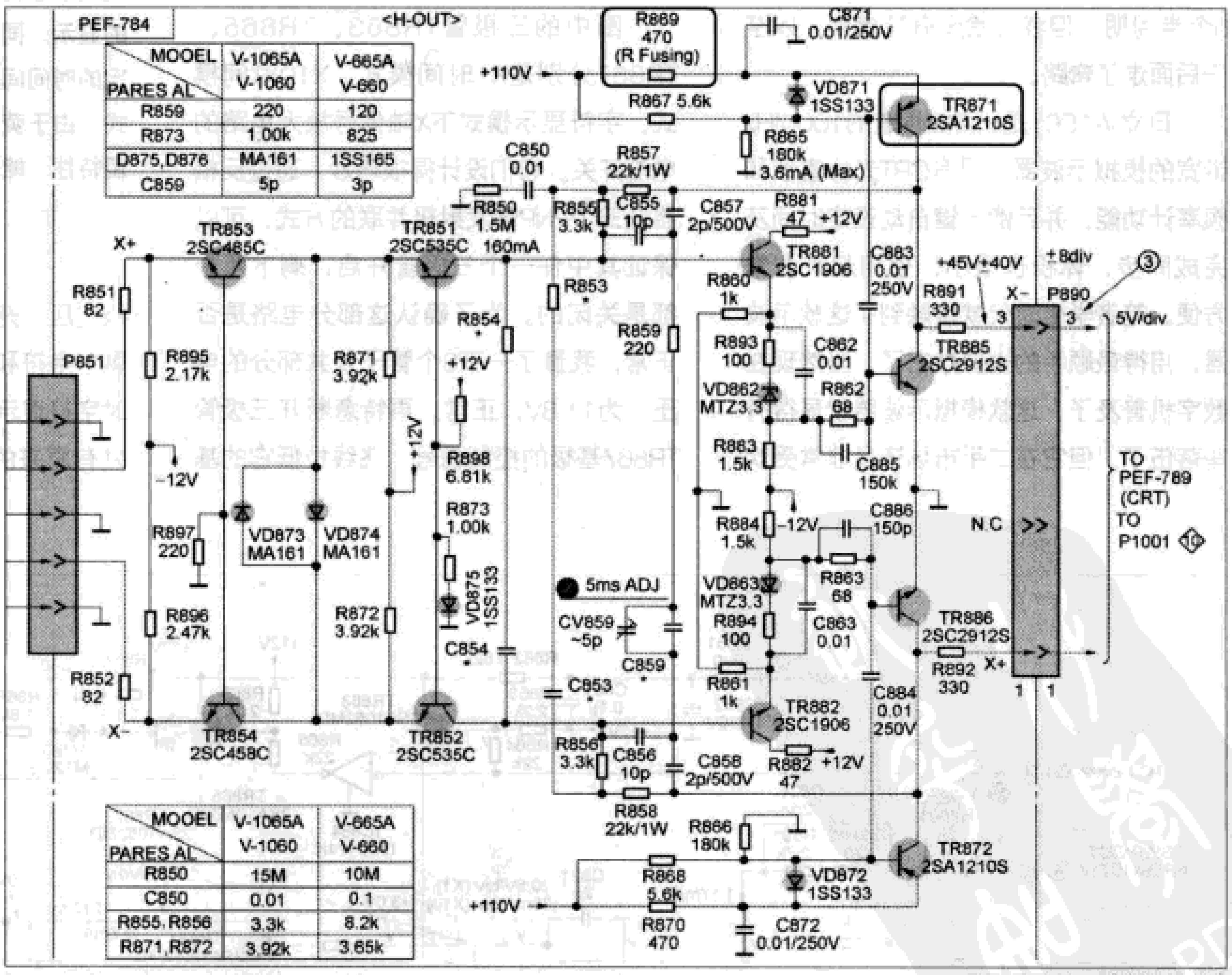


图4 疑似问题电阻在电路板上的位置



MOOEL / PARES AL	V-1065A V-1060	V-665A V-660
R859	220	120
R873	1.00k	825
D875,D876	MA161	1SS165
C859	5p	3p

MOOEL / PARES AL	V-1065A V-1060	V-665A V-660
R850	15M	10M
C850	0.01	0.1
R855,R856	3.3k	8.2k
R871,R872	3.92k	3.65k

图5 找到问题所在 （根据原厂图绘制）

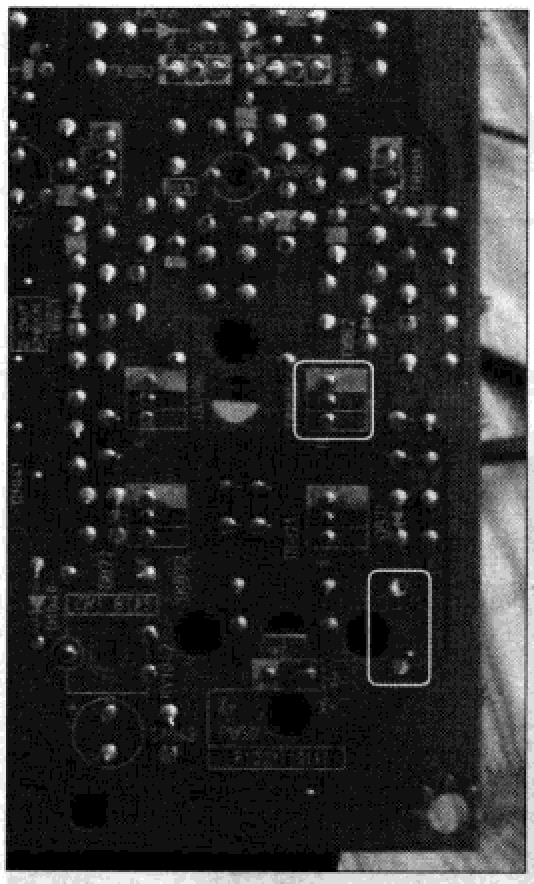


图6 问题元器件在电路板上的位置

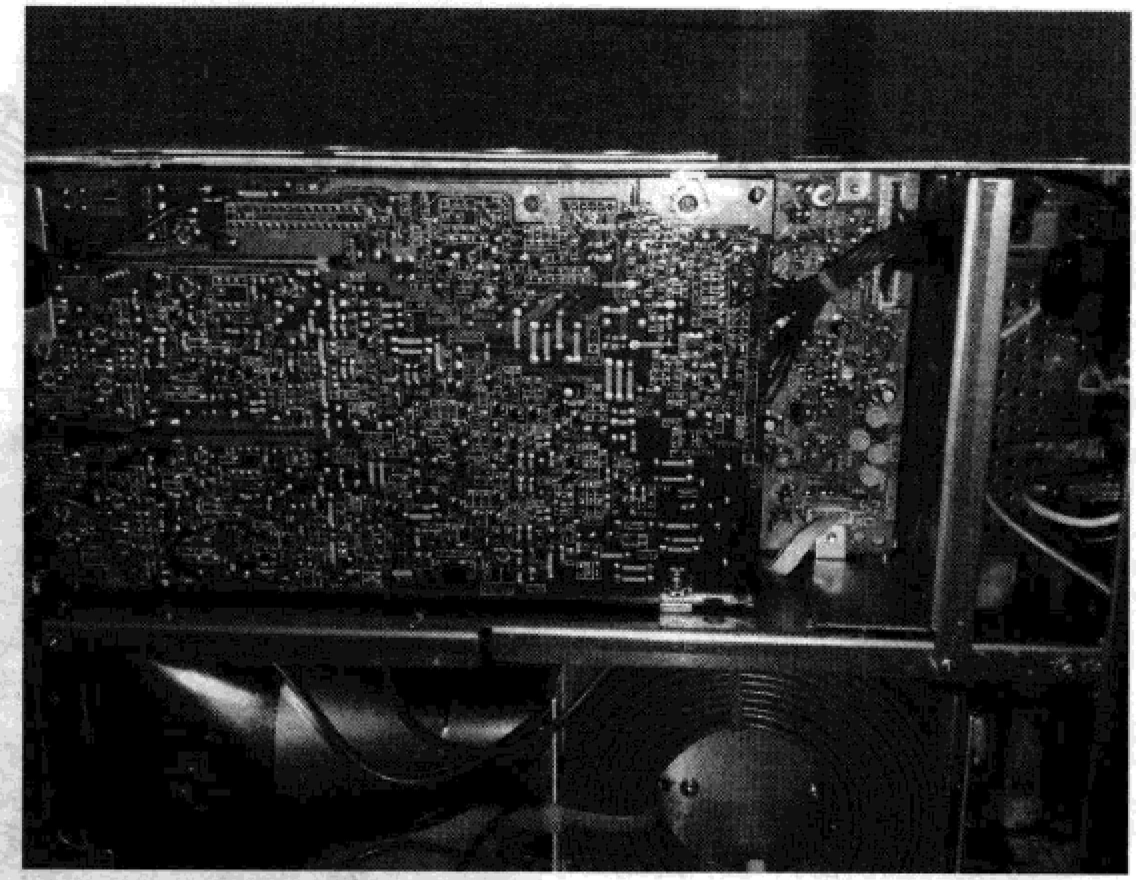


图7 拆下底盖后的示波器内部

这种影响的，因此问题应该是出在这部分电路上。接下来很快就找到了故障点，即图5和图6中所示的R869和TR871。值得一提的是图纸上面R869下注明有R Fusing，说明这个电阻设计就是用来当保险丝的，另外我开始没注意到三极管也坏了，只换了电阻，结果一上电就冒烟。损坏的三极管型号是2SA1210S，200V耐压的PNP管，手头没有合适的，只好网购解决，收到后马上换上去，显示终于正常了。

但好事多磨，我又发现一个问题：2通道的幅度有问题，不管怎么调节电压挡位，波形的幅度都很小，基本上就是一条直线。这说明2通道的前级放大电路出了问题，只有拆下底盖检查了。这时我意外发现原来校准的电位器可以从这个角度方便地进行调节（见图7），之前我还担心要把支架拆下才好做校准的。

因为1、2通道的前级放大结构是一样的，我用对照的办法慢慢排查，发现问题出在2通道的使能信号上。切换到2通道时，该控制信号没有相应的变化，这个信号是通过排线引过来的，顺着路径，我再往前查，很快就发现是下面电阻惹的祸（见图8）。尽管外表看上去外观无异常，但拆下来测量发现其是开路的，我换上一个同阻值的贴片电阻，再上电测试，2通道也正常了。

接下来就是一些校准工作，因为前面检修过程中我动过一些电位器，导致时间轴不准了，游标的长度也不准了。在图8所示的主板上有几个黄色的电位器就是调节这个的，按照维修手册说明，很快就调好了。这样，这台示波器终于修好了，最后附上一张完工后的测试图（见图9）。

由于日立的几款示波器V-1065A、V-1060、V-1565、V-665A、V-660的原理图大部分是一样的，因此有此类型示波器的读者，当示波器的字符出现晃动问题时可以参考一下我的维修经验。另外在维修过程中一定要注意细节，先想好再动手，否则会越修越乱，如果我一开始就注意到波形显示的X轴比例也不对，稍微判断一下就会把问题点锁定在后级放大电路上，那么就不会在信号混合前浪费那么多的时间，还不知不觉弄坏了一个三极管。

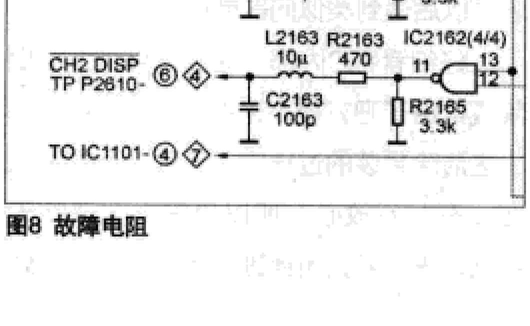


图8 故障电阻

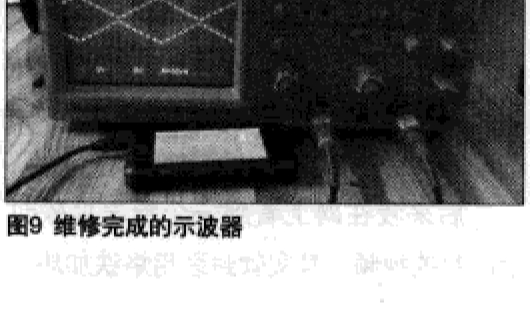


图9 维修完成的示波器

◇康禹

铲“牛屎”，换硬封，修复VC9801

朋友送给我一台有故障的VC9801型数字万用表。故障现象是开机无显示，蜂鸣挡可以蜂鸣，但是无显示，某挡位显示1、“.200”、MΩ，但无法测量。遂拆开，一看，原来是软封装（俗称牛屎封装）的芯片（见图1）。不过检查了一下，其他电路用料还是可以的，于是就打算把它修好。

因为这块表还有一挡有显示，所以一开始认为是挡位铜片乱了，花了很长时间研究挡位铜片。挡位开关背面有5个铜片，10个位置，30种可能，挨个进行测量，没有发现异常，后来分析电路板，发现原来铜片根本没有问题。通过以上的测试之后，基本上可以得出结论：软封装7106坏了。不过幸运的是，VC9801用的是ICL7106，而不是其升级版——带有数据保持等功能的AME7106。要是AME7106的话，肯定是贴片的QFP封装，那就不好进行维修了。另外，板子上预留了40pin的DIP硬封IC位，这样后期更换硬封就方便了许多，但是网上买一个几块钱的IC要支付十多元运费，很不值得。半个月后的一天，笔者抱着试试看的心态到实体店看能不能买到，坐了将近一个小时的公交车到了卖元件地方，居然买到了（见图2）！而且貌似是Intersil原装的，5元一个，比DH7107还便宜。

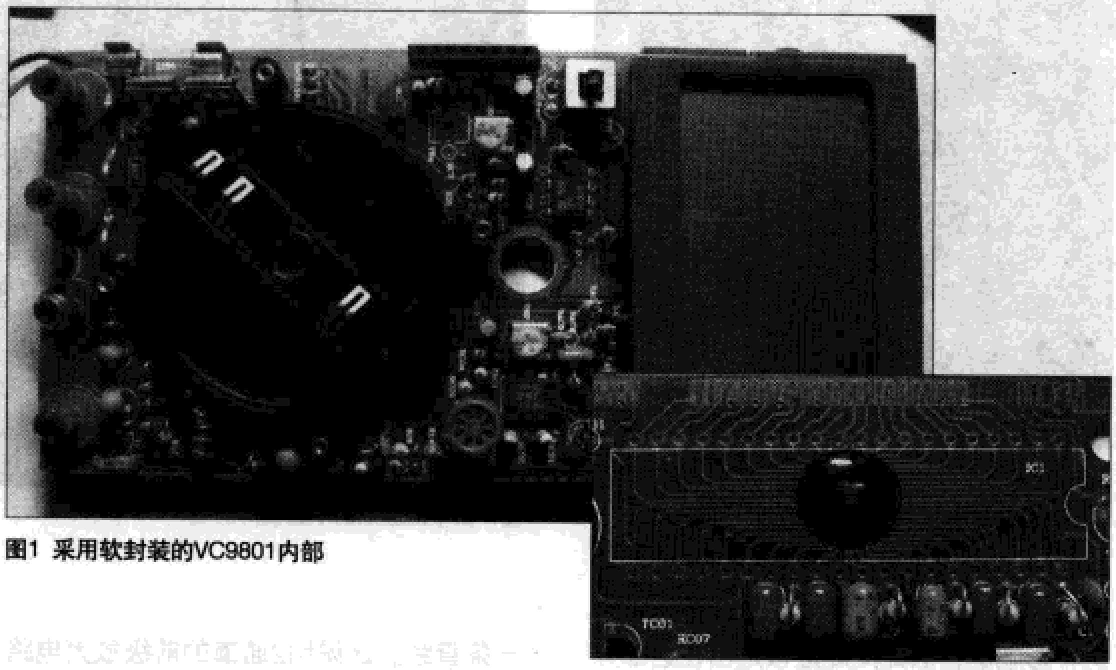


图1 采用软封装的VC9801内部

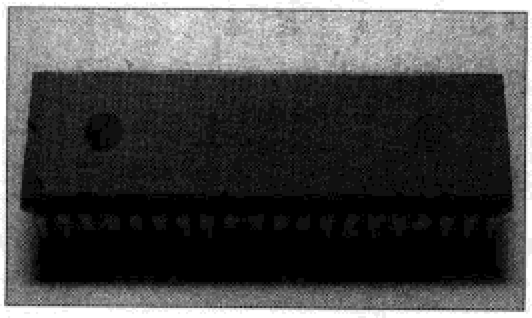


图2 ICL7106

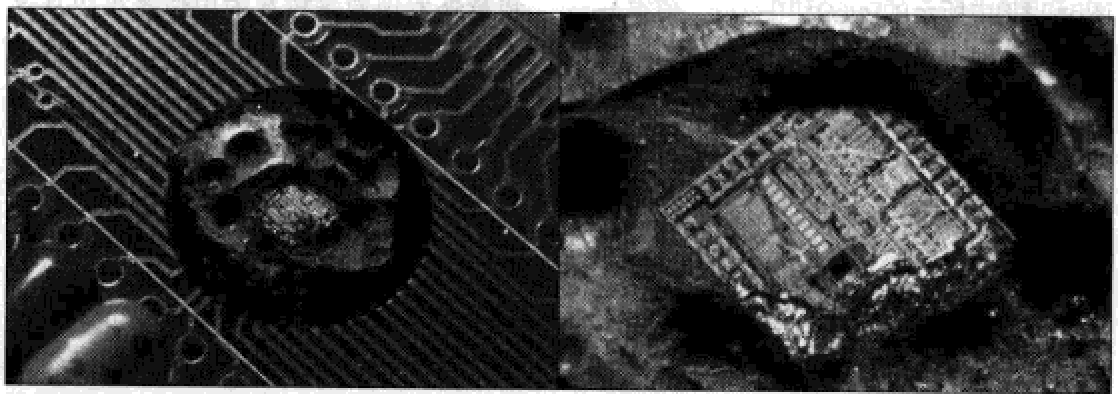


图3 铲牛屎

ICL7106买到之后，接下来就要“铲牛屎”了，这真是一项艰巨的任务啊，因为没有合适的工具，先后用上了小电钻、各种螺丝刀、钳子、锉以及砂纸等工具。首先用自制小钻搞几个洞，然后用螺丝刀扩大战果（见图3）。在“无所不用其极”的折腾之后，终于得到了如图4所示的成果。

后来我在网上看到一个给表换软封装芯片的视频，其实软封装用烙铁加热一会就会变得很软，然后用刀一铲就掉了，根本不用那么麻烦。至于有的万用表使用的AME7106，网上也有很多带电路板的软封装芯片卖，根据自己表上的封装大小可以选择不同的封装来替换。现在有了经验，以后遇到类似问题就好搞定了。

仔细看看IC内部，这应该算是大规模集成电路了吧，接下来就要将IC铲掉。由于在清除封装的过程中，还残留着很多东西，有些不放心，所以打算全部清除干净。首先，我先用锉进行了一下处理，处

理的过程中要注意保护板子，以防被锉刮坏，当锉不能用了之后再用砂纸。最后到底还是划坏了不少，没办法啊，砂纸是不长眼睛的，好在不影响使用。

铲干净之后，进行一下卫生清理工作，然后焊上IC插座，最后插上ICL7106就搞定啦（见图5）。

做完以上全部工作之后，进行直接通电，屏幕上一下子出现了显示，我的心情尤为激动啊！出现显示之后，赶紧用5V电压基准MAX6350试一下，结果显示5.07V，有点小失望，冷静思考了一会，我决定调基准电位器。电位器是那种普通的电位器，并非精密多圈电位器，拧的时候需要一下一下轻微地动，很难控制。读数在拧动的过程中变化：503-501-499-497……再往回拧497-499-501……调整了很长时间，终于调整出来一个500的读数。然后调换一下表笔，读数-500，翻转误差小于0.5（见图6）。

当我将万用表打到200V挡和1000V挡，读数分别为49和4，这表明分压电阻还可以。经过一番测试发现，直流电压挡基本准确，交流电压挡基本准确，不过电阻挡准确性较差，几乎全部低阻量程读数都偏低5个字，这点比较令我失望。我猜测可能是积分电容不好，将36脚和31脚短路自检一下，结果只有995。把积分电容拆除下来，发现积分电容都已经裂了（见图7），换一个高耐压的电容（见图8）上去，自检读数变为999了，电阻挡读数也提高了2个字。不过新换的电容体积有些大，后盖盖不上了，等以后有机会再找个小点的换上。全部搞好之后再打理一下卫生（见图9）。

整机基本挡位耗电约2.1mA。我最喜欢VC9801的地方就是挡位显示，真的很不错，也能在一定程度上避免拨错挡位。这个表现在还有一个问题就是没电池盖，不过好歹是人家送的，虽然是坏的，但我也没花多少钱就修好了，还是挺好的。

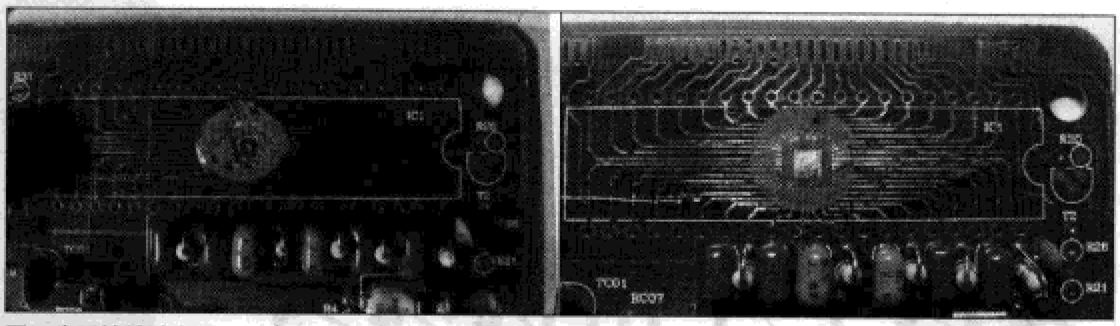


图4 牛屎被铲除之后

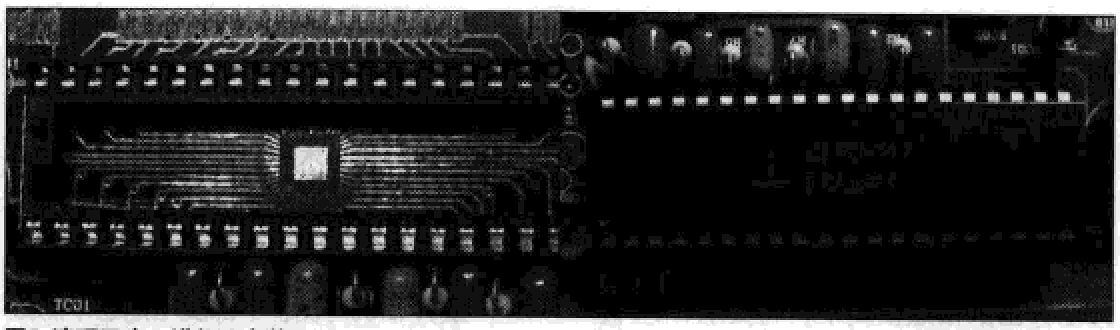


图5 清理卫生，进行IC安装

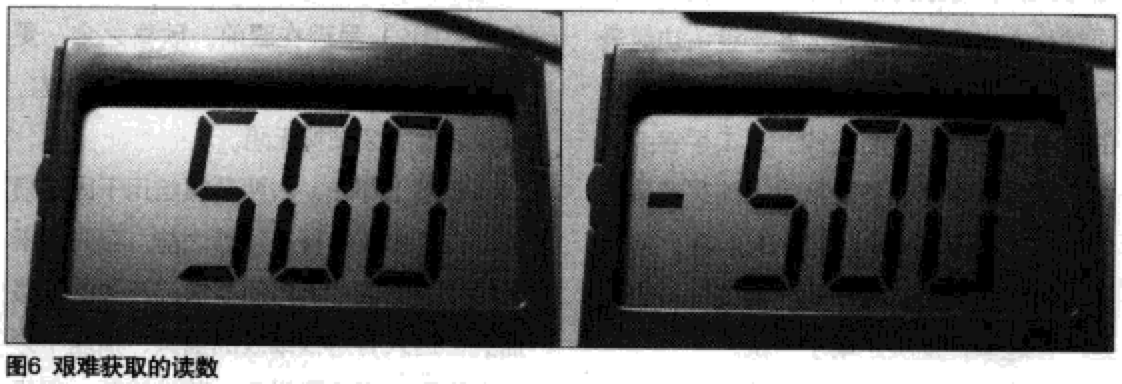


图6 艰难获取的读数

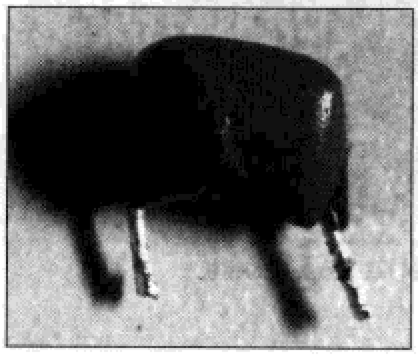


图7 更换下来的积分电容

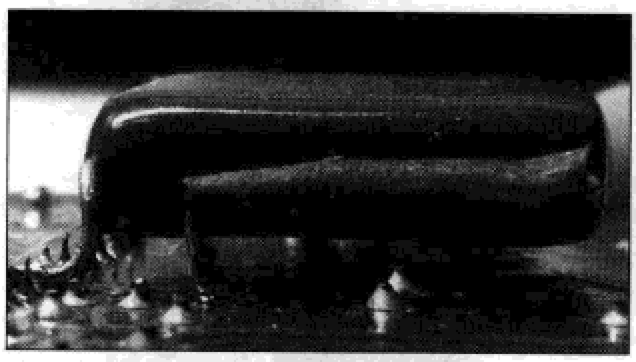
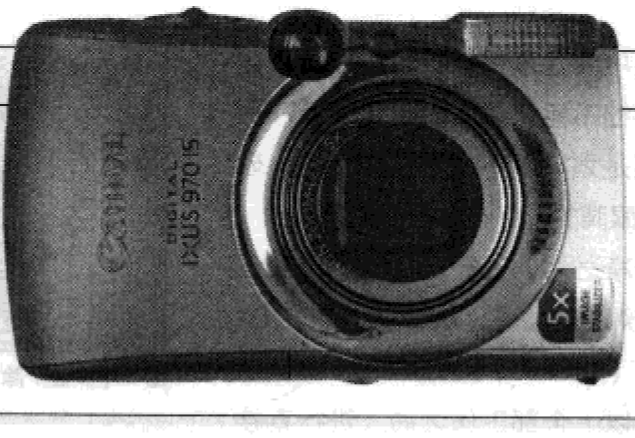


图8 更换的高耐压电容

图9 修复完工的VC9801

◇刘福胜

自己动手 更换卡片相机镜头



我在2008年购买了一台佳能IXUS970 IS卡片相机，虽现在显得有些老旧，但对焦快、成像清晰，且1000万像素、5倍光学变焦应对徒步之行的留影已是绰绰有余。近期不慎失手，在相机镜头完全伸出的拍照模式下，将其从1m多高的距离直线跌落到水泥地面上，镜头因撞击而歪斜，导致无法伸缩，更沮丧的是表面镜片亦出现磕伤斑痕。鉴于镜头功能丧失，已属物理性损坏，寻求售后修复相机的价格定会不菲。若自购一只二手镜头更换，节省的维修工费既抵得上购买镜头的价格，又能从中体验到DIY的乐趣，何况还能一睹数码相机内部的“真容”，也算是一件趣事！遂决定动手一试。

事不宜迟，先到网店搜索镜头信息及图片，从感观上备足功课。一番审视比对发现，含CCD的镜头（见图1）价格260元，仅比单个镜头高出40元。更为重要的是，原装镜头总成中固定CCD的3颗螺丝边缘，出厂前是被胶质封固的，这是印证镜头被翻修或者更换CCD的鲜明佐证，若购买总成，也就略过了为新购镜头装上CCD的这个环节，自然也就降低了修善的难度，为相机“术后”能完好如初做足铺垫。4天后终于拿到了翘首期盼的镜头，且品相极佳，令“拯救”工作万事俱备。

旋开相机两侧、下部及电池仓中隐藏的共计7颗螺丝，无须扛、撬便可轻松揭开后壳、前脸和底座封板，相机的冰山一角（见图2）呈现在眼前。欣喜之余，更要及时记载或者画下各螺丝的旋下位置，以便后期组装顺畅无阻。

机芯上部左、右两颗螺丝用于固定顶盖，在卸掉螺丝移开顶盖之前，可先用镊子轻微拔出机芯通向顶盖快门开关的连线插头，这只有两根细线的插头、插座十分微小脆弱，下手要轻盈，若被拔断，相机的快门也就休想再有动作了。

显示屏被一只半框的金属架夹紧，而固定金属架的只有其左上角的1颗螺丝。显示屏右侧上方层叠引出一窄、一宽两排插线（见图3）。窄线在上，并呈90°直角插入主板，为显示屏背景光源传输电力，宽线在下，系显示屏数据线。释放这两组插座中的排线要掌握窍门，需用针尖向上挑起插座后部黑色的锁紧压片，排线即可轻松取出。

移开显示屏，镜头部件及其固定金属框便映入眼帘。金属框上总计8颗螺丝，但只要旋开金属框上方中间的2颗和下面偏左的1颗螺丝，再挑开镜头左下侧的两组排线插头，就可以从前面取出镜头，看到这缺“芯”的相机（见图4），你是不是涌上一种莫名的快慰，这是成功前的喜悦。此时，还要一鼓作气，装回新镜头，并用它再次记忆您生活的点滴吧！

老镜头被我主动“清退”，这新镜头的安装自然也是水到渠成的，依拆卸的步骤循序而返，稳妥地插好镜头排线、快门线、显示屏线并紧固显示屏各螺丝之后，就可以插入电池开机测试了。伸缩自如的镜头，清晰艳丽的图像，这一切都让人欣喜若狂，当初3000大洋揽进怀中的相机，终于躲过提早下岗的厄运，在自己的巧手之下重见天日。

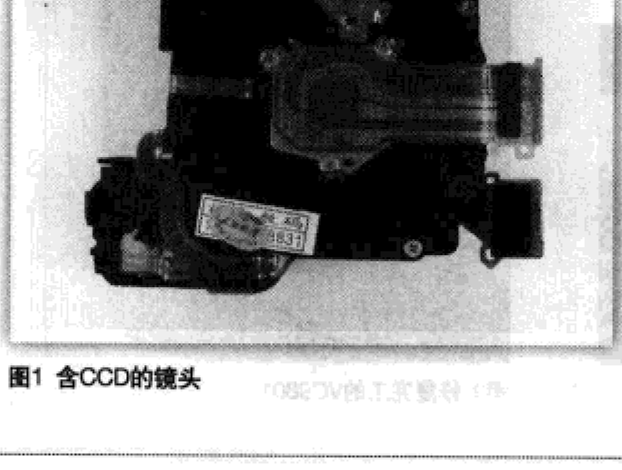


图1 含CCD的镜头

图3 连接于显示屏上的两排插线

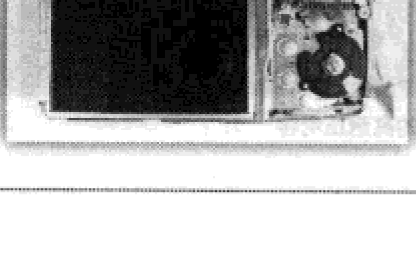


图2 相机内部局部

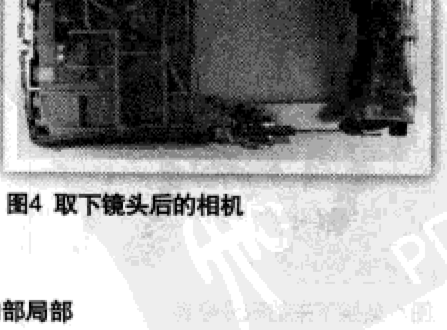


图4 取下镜头后的相机

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 有一台多功能时尚液晶显示迷幻小闹钟，可向4个方向旋转而实现时钟等不同功能显示，还会发出蓝、绿色闪光和“嘀嘀”声，煞是好看。但最近这个小闹钟不听话了，常常会无故乱闪光并发出“嘀嘀”声，而正常转动方向时它反而不动作了，据朋友讲，故障可能很复杂，不易修复，他讲得对吗，自己能否修理？（湖南　刘之波）

A 此类小闹钟一般是采用“钢珠传感器”来实现四方向转换并显示万年历时钟、闹钟、倒计时、温度等不同功能的。这种故障大多是因“钢珠传感器”接触不良所致，通常都能自行修复。“钢珠传感器”的结构较为简单，是由装在塑料小盒内的一颗钢珠和四边8条接触导线等组成。检修时只要用小改锥撬开塑料小盒上盖（注意别让钢珠弹出），取出钢珠，仔细清洁钢珠和8条导线，去除油垢、尘土等污物，再安装好，即可恢复正常。（王德沅）

Q 新购一款深圳产某牌的8G闪盘，用ATTO软件测试，其写入速度为4~5MB/s，产品规格表标注的参数也差不多，但实际拷贝时却发现远远慢于这个速度，例如拷贝一个总共约200MB的资料需用3分多钟，按此推算实际写入速度在1MB/s左右，这是什么原因，此闪盘正常吗？能否改进？（广西　朱俭）

A 用ATTO Desk Benchmark软件测试的写入速度大多在4~5MB/s，并不表明实际写入速度也都能这样，如果实际写入的多是小（体积）文件，那么写入速度就会大大下降，实际上在ATTO的界面上也可看到传输小文件的速度要比大文件低很多，只是一般人往往仅注意到后面一大串较显眼的传输大文件的数据而已。所以，这种现象通常并不表明闪盘有问题。若要提高传输速度，一是将众多小文件先用压缩软件打包后再拷贝到闪盘，二是使用USB3.0闪盘，但电脑也需要支持USB3.0接口才行。（王德沅）

Q 最近我在网上购买了一款SD卡，用读卡器能正常写入和读出资料，并且将原来一些照片等资料拷贝到卡内，但是将该卡插到数码相机中却无反应，原来的照片也不能显示出来，而数码相机是完好的，这是何故，怎么解决？（河北　刘世家）

A 造成这种故障的主要原因有：一是SD卡没插好或插脚有污垢等，进而造成接触不良。特别是采用卡套（适配器）的SD卡，使用的大多是TF卡，TF卡与有些卡套间易发生接触不良，可设法避免接触不良或者调换卡套。二是所购SD卡性能不良，如消耗电流过大等，但对正牌产品而言，这种卡通常很少见。三是操作不当。实际上SD卡是能用的，但有些数码相机不认直接复制来的文件夹，不显示拷贝的照片，对此，只要先拍摄几张照片，然后取出SD卡，连接到电脑，将原来的照片复制到SD卡中新建的文件夹，这样原照片就能在相机上显示了。（王德沅）

Q 一台格兰仕微波炉使用2年多一直正常，最近不知何故却屡屡发生电源保险丝管被烧坏的故障，常常是刚刚开机就烧保险丝管，调换同规格保险丝管后又能工作，但是偶尔开机就又被烧坏，拆机反复检查，没发现炉内220V电源进线处有短路点，也没有损坏的元器件，这是什么原因，如何解决？（广东　王平顺）

A 保险丝管被烧断肯定是电源过流引起的。如果检查220V电源电路高压电路都没有故障，那么问题就在监控连锁（安全）开关上。该连锁开关与炉门连动，在炉门打开时闭合导通，合上炉门时关断，如果连锁开关损坏或松动，在合上炉门时仍然闭合，就会造成电源短路而烧保险丝管。检修时可拆下微波炉上盖，随后一边开、关炉门，一边仔细观察开关触动杆和炉门等相互间的动作，若动作都正常，通常就是开关本身有问题了。（王德沅）

Q 有一款“昂达”MP4播放器，原来使用一直正常，前几天使用时不慎失手，跌落在地，结果造成开机无反应，检查电源电路以及各输出电压都正常，于是怀疑晶体振荡器损坏、造成晶体振荡器电路停振，但是测量晶体振荡器两端电压似乎没问题，不知该如何可靠判断晶体振荡器好坏？（河南　祁刚）

A 由于摔跌，播放器晶体振荡器内部容易断线或破裂损坏，从而造成机器不能工作、电脑无法识别等故障。检查晶体振荡器好坏的最简单可靠的方法是替换法，即用好的晶体振荡器换下原机的晶体振荡器试验。用电压测量法判断较难，因为有的电路起振和停振时晶体振荡器两端电压并没有多大变化。用替换法时需注意，不同播放器所用晶体振荡器规格不尽相同，替换时要用同规格（主要是频率）的产品，不要搞错，否则会造成判断失误。（王德沅）

Q 有一台4.3英寸的MP4播放器，开机后没任何反应，接到电脑USB接口上充电几小时后故障依旧存在，实测锂电池两端电压为2V左右，是否正常，正常应该几伏？是否锂电池已坏？（内蒙古　张于波）

A 锂电池两端电压正常应为3.7V左右，刚充电完的空载电压可达4.2~4.3V。若实测锂电池电压为2V左右，表明没有充足电或已经损坏，通常以前者居多。检修时，可在充电时测量锂电池两端电压，如果正常（通常3.5~4.3V），说明锂电池本身不良，倘若充电后仍旧如此，就该换新或维修了。如果电压很低（通常小于2.5V），那大多是充电电路的故障。对此，可从USB接口查起，MP4的USB共有4个引脚，其中+5V电源端，一般经过2R2或3R3等贴片电阻与充电电路连接，通常这个电阻容易损坏，若实测电阻阻值变大或断路，只要换上同规格电阻就可排除故障。（王德沅）

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请将来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 有一台多媒体立体声音响，平时主要用来外接MP3、MP4和手机等数码产品进行放音，最近突然发现播放的声音严重变轻、失真而且伴有“嗡嗡”的交流声，不过将插头拔出一点后，音量就会变大，但噪声仍有。怀疑插头、插座和连接线接触不良，但是检查后没发现问题，这是什么缘故？（湖北　周鸿伟）

A 这种故障主要是音响电路和信号源（MP3、MP4或手机）之间的连接线屏蔽层断路所致。当屏蔽层断路后，信号源输出信号不能正常输送到音响放大器，只是通过分布电容等有很少分量加入音响，故声音变轻、失真。同时由于接地端（屏蔽层）不通，所以伴有“嗡嗡”噪声。将连接线插头拔出一点后，使得原来连接一个通道的输出线充当了（屏蔽层）地线，故而声音变响，但只是一个通道的非正常声音。只要将连接线的屏蔽层重新连接好就能排除故障。值得注意的是有些连接线的屏蔽层处于时通时断状态，检修时务必认真仔细，如果重新连接困难，建议调换新件。（王德沅）

Q 有一台48V电动摩托车，使用半年多，原来每次充足电后可行驶40km，现在只能达到10km，据说是蓄电池老化所致，不知能否自行修复？（辽宁　许林晖）

A 这种故障主要是蓄电池性能变差、容量变小所致。电动摩托车一般使用免维护铅酸蓄电池（电瓶），这种电瓶通常是由多个铅酸蓄电瓶组成，如48V电瓶大多由4个12V的铅酸蓄电瓶组成，而每个12V电瓶内通常由6个小电瓶串接而成。在额定使用寿命之内，铅酸蓄电池组中性能变差、容量变小的电瓶通常只是少数，甚至只有一个，故可找出不良的小电瓶予以调换，这样就可大大降低维护成本。例如对于48V电瓶，通常可先对4个12V电瓶测量，找出一个不良的予以调换即可。蓄电池容量变小主要是使用不当和性能老化所致，所以使用时一定要遵守说明书所述规则，防止过充电或欠充电等。（王德沅）

Q 一台台电牌A12型平板电脑，在一次玩《捕鱼达人》游戏的过程中，图像和声音突然消失，发生黑屏现象，此时按动电脑右侧的所有按键都不起作用。不过等到第二天或第三天再开机就好了，同样现象以后还发生过多次，这是何故，怎么解决？（上海　刘劲峰）

A 这种现象一般是电源电压过低所致。该机设置了电量检测电路，当机内锂电池放电至满电量的20%，电路即自动切断供电电源，电脑黑屏、关机，这样做主要是为了防止锂电池因过度放电而大大缩短使用寿命。其实，如果出现这种现象，通常可将充电器插入电脑进行充电，待充电完毕，就可重新使用了。注意，充电器插头插入电脑时，屏幕不会马上反应，需等十几秒才会亮屏，别以为没反应就不充电了。另外，使用时当电量不足30%通常就可考虑充电了。（王德沅）

Q 有几台电动自行车配套的220V/60V蓄电池充电器经常损坏，每次都是开关电源集成电路TL3842F和功率管等元器件被烧坏，修好后使用一段时间往往又被烧坏，而且发现，TL3842F损坏大都是7脚和5脚之间被击穿，不知原因何在？怎么解决？（山东　高国强）

A 首先要指出，国家强制性标准规定，电动自行车的蓄电池标称电压应不大于48V，可见蓄电池电压为60V的电动车肯定是不合格或假冒伪劣产品，不要购买和使用。如果已经购买，可向经销商联系退、换货。对于经常发生这种故障的36~48V电动车充电器，其电路大多较简单，通常TL3842F的7脚（电源端）大都由振荡变压器次级或蓄电池端电压供电，在开关电源尖峰电压冲击下容易造成7脚内电路击穿。解决方法是在7脚对5脚之间接一个18V稳压管和100~200μF的滤波电容，这样就可避免经常烧坏TL3842F了。（王德沅）

Q 我们地区的有线电视线路进行了整体升级改造，效果变得更好。但美中不足的是，各个频道的音量不一致，有的音量很低，有些却很高，这样在调换频道时，音量常常突变，让人感到不舒服。特别是音量突增时，往往会吓人一跳，然后再手忙脚乱地调整机顶盒和电视机遥控器，让音量降下来，一晚上看电视常要调节多次。曾问客服，说是电视机问题，是这样吗？有没有较好的解决办法？（江苏　许大海）

A 这种现象主要是电视频道的音量传输电平不一致和用户调整不当所致，可按下述方法解决。首先按照机顶盒说明书所述，将机顶盒遥控器去“学习”电视机遥控器的“菜单、音量”等按键功能，这样就能用前者来遥控电视的“音量”等功能，可省去电视遥控器。然后调整电视机音量至一个数值固定下来（例如10，具体按实际感受决定），而平时则用机顶盒遥控器的“音量”键来调整各个频道的音量，这样转换频道时就不会出现音量突升、突降的现象，大多数情况不用调整或只需微调即可。（王德沅）

Q 在网上新购一台系统为Android 4.0.3的9.7英寸平板电脑，使用一个多月后，发生一种奇怪的故障，就是用预装的iReader软件打开电子书时，屏幕闪一下后就马上熄灭，变成黑屏，此时再也无法操作。只有关机后重新开机才能操作，但仍不能看书，而游戏等其他功能基本正常，这是为什么，如何排除故障？（江苏　沈威杰）

A 这种故障大都是在调节iReader亮度时操作失误造成的。排除的方法是：开机后打开iReader，在软件起始界面（有书架等图案）出现后，按动（触摸）界面底部的选项键（3个竖排点），在弹出的选项界面中按动“设置”钮，然后下拉菜单，选择“恢复默认状态”即可，这样再打开文档就不会黑屏了。（王德沅）

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请将来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 有几台不同牌号的8～10波段收音机，主要由集成电路CXA1019为核心组成，由于年代较久，出现了开机后没有反应、某些波段音轻、灵敏度低或无声等故障，经检查，发现集成电路各个引脚电压似乎没问题，因为元器件排列紧密，没有电路图检查很麻烦，希望贵刊提供有关线路图，并且简介检修重点。（河南 魏宗凯　辽宁 曲宝锡）

A CXA1019 的典型应用电路在网上很易找到，不同牌号收音机的电路大同小异，基本上都可参考典型电路进行检修（本栏篇幅很有限，无法刊登较大电路图）。通常，对于完全无声的机器，首先测量电源电流，整机静态电流正常应为8 ～ 15mA。如静态电流很小，通常是电池接触不良、电源线路断路、集成块损坏等原因所致，如果明显大于 15mA，应检查电源负载元件及其相关印制线间有无漏电或短路。对于某些波段音轻、灵敏度低和有杂音等故障，最为常见的原因有波段开关接触不良，中频变压器失调、陶瓷滤波器频偏和个别电解电容漏电等。**（王德沅）**

Q 在某网上商城新购一台采用Android 4.0.3系统的电容触摸屏平板电脑，发现在玩游戏或打开某些文档时机器反应慢，有的游戏运行有些卡，甚至会死机，请问能否自行解决这类问题?（辽宁　朱文军）

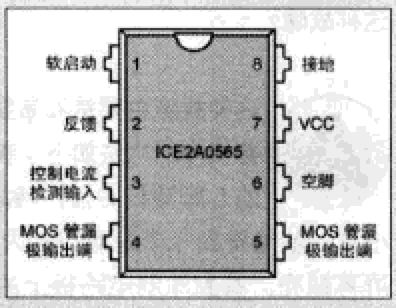
A 如果不是电脑本身质量问题，这种现象一般是“多余软件”造成的。通常平板电脑都预装了不少软件，加上用户自己安装的软件，从而导致了开机后可能有许多无用的软件在“运行”，如提示升级、推广新软件和广告等，这样就占用了电脑的许多资源，会明显影响其他软件的运行速度，甚至造成死机。所以，可在开机后通过任务管理器，检查电脑的实时进程和占用的资源份额，关闭无用的进程，卸载不用或很少用的软件，这样就可较明显地提高电脑的反应速度。**（王德沅）**

Q 我买了两个相同型号和规格的8G USB2.0闪盘，用ATTO软件测试，其中一个的写入速度可达15MB/s，另一个产品却只有4～5MB/s，前者的速度令人生疑，但实际拷贝文件也证实是确定无疑的。曾经联系客服要求将低速的那个调换，但被回绝，理由是速度4～5MB/s符合该产品标准。请问这是何故，能提高后者的速度吗?（上海　王勤）

A 闪盘的读写速度主要取决于所用的主芯片，USB2.0的闪盘通常写入速度为4～5MB/s是正常的，一般无法提高到15MB/s这样的高速，除非改变主芯片和电路，但一般人不可能这样做。至于你购买的一个闪盘速度可达15MB/s，那么很可能是机芯被误装了，例如将USB3.0的机芯或试验机芯装入了机壳等。当然由于没见到实物，仅仅是推测，仅供参考。（王德沅）

Q 接修一台万利达DVD视盘播放机，该机电源部分的一个8脚集成块被炸爆裂损坏，无法看清型号，只是依稀看出有“565”等字样，请问这是什么型号的集成电路，各个引脚功能如何?（北京　张钢）

A 基本上可以确定该DVD机的电源集成电路型号是ICE2A0565。ICE2A0565是带有“超结MOS功率管”的离线式开关电源电流模式控制器（Off-Line SMPS Current Mode Controller），在DVD机中应用较广泛，主要用作开关电源控制器件，其“漏－源极”电压VDS为650V。该IC具有多种封装品种，其中以“双列直插”DIP-8封装最为常用，附图显示出了这种封装的引脚排列及功能说明，供参考。**（王德沅）**



附图 ICE2A0565

Q 去年我花了100多元购买了一支高级多功能数显电子体温计，最近发现不能使用了，开机后2s左右液晶显示器指示37.0℃，再过3s左右变成“Lo ℃”且维持不变，同时发出“滴滴”的响声，调换新电池也一样，检查电池接触良好，不知什么原因，能否修复?（浙江　林建中）

A 这种故障通常是测温元件断路或损坏所造成的。一般接触式电子体温计都采用微型珠状测温型负温度系数热敏电阻，如果热敏电阻开路或损坏，相当于其阻值大增，远远超出了对应的测温下限，故而体温计显示“Lo ℃”。检修时通常可在拆卸体温计后，仔细检查热敏电阻引线是否断裂或脱焊，如果没有，那很有可能就是热敏电阻坏了，只要换新后就能排除故障。**（王德沅）**

Q 新购一台台电A12型10.1英寸平板电脑，在一次上网浏览网页时，屏幕突然变成黑屏，按复位键、重新开机、进行充电等都无法使屏幕再亮起来，这是什么原因，怎么解决?（重庆　黄毅）

A 这种故障通常是使用中不慎触摸到亮度按钮，将亮度关暗所致，因为屏幕无光，所以不少用户往往感到束手无策。黑屏后的电脑是开着的，但屏幕被锁死，可把屏幕对着灯，如能隐约看到开机锁键，就像平时解锁一样，用手按拉锁键，使其解锁，倘若看不到解锁键，则可在全黑环境中试试看。解锁后再按右下角的设置键或图标，再把亮度调到最亮就行了。这是一种简单解决之法，其关键是要能看到解锁键和正确操作，如果看不到，就只能根据平时的操作位置反复按拉，多试几次后大多也能成功。**（王德沅）**

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请将来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 有一台Malata 1703型便携式DVD播放机，在播放影碟片时，屏幕上常会出现很多白线条和白点，甚至图像消失，而声音基本正常，轻轻敲击液晶屏幕和机壳，有时会使故障减轻。拆机检查，没发现什么接触不良的地方，想拆卸屏幕，但反复查看也没发现螺丝，无法拆开，不知应该怎样拆卸？如何排除这种故障？ （山东　沈嵘）

A 这种故障主要是液晶显示屏和主板接触不良所致。拆卸屏幕机壳的方法如下：首先取出机壳和屏幕壳转动连轴两端的5脚塑料封盖，随后撬出屏幕塑壳四角的4个“橡塑”小柱，就能看到4个隐藏在孔内的固定螺丝，拧出螺丝后就能拆开屏幕塑壳，看到印制电路板上的显示屏插件，然后拔出印制插头，清除插头、插座的污垢后，再重新插入即可，注意插入插头后别忘了将“锁扣”扣好，以免日后松动。 **（王德沅）**

Q 新购一台某牌号Android 4.0系统10 .1英寸平板电脑，使用效果总体感觉还行，就是有时会突然自动关机，变成黑屏，无法再开机，充电后又能使用，估计是电池电量消耗太多所致。但是不明白为何电池电量过低时没有提示？这样好像不甚方便，不知能否解决这个问题？ （广西　郑洪等）

A 这种自动关机一般是电池电量过低所致。Android 4.0系统一般应该是有“低电量”提示的，通常当锂电池放电至满电量的20%以下时，就会出现“请连接充电器，电池电量低，还剩×%……”之类的提示。如果没提示就直接关机黑屏，多半是固件有瑕疵，大都可通过重刷固件来解决。在刷固件前要仔细阅读官方网站上的相关教程，下载正确版本的固件，然后切实按照教程逐步操作，直至刷新成功。如果刷新固件后仍无效，说明机内电量检测等电路出了故障。 **（王德沅）**

Q 一台金正牌7英寸移动DVD影碟机不能使用，开机后激光头组件的进给电机不会转动，检查电路没发现什么问题，电机驱动器集成电路D5954似乎也正常。怀疑电机损坏，但是无法判断，请问该电机的直流电阻应为多少，如何检修此故障？ （甘肃　周福家）

A 采用电机驱动器集成电路D5954的DVD机，其进给电机的直流电阻通常为15～20Ω，如果实测明显偏大，说明电机内部接触不良，换新后就能解决问题。如果有经验，也可自行拆卸电机，清除电机内的污垢和氧化物即可。倘若实测电机正常，那么可检查电机至D5954相应驱动输出端的连线和接插件，如果发现断线或接触不良，排除后就能恢复正常。 **（王德沅）**

Q 一支数显体温计，开机测量时，液晶屏有显示，但是存在缺笔画现象，有些数字显示不全。调换新电池无效，检查电池接触良好，清洁内部印制电路板也没用，不知什么原因，怎么修理？ （湖南　张育）

A 这种故障大都是液晶屏与线路板之间接触不良造成的。对此，可拆卸温度计，取出印制电路板（小心别拉断热敏电阻引线），再开机，用手指捏牢线路板靠近液晶屏导电橡胶一侧的上下两边，然后一边用手指加压，一边观察液晶屏显示，若发现显示数字笔画有变化，说明存在接触不良，此时再用手在不同区域加压到显示数字全部正常（不缺笔画）且稳定不变，最后在线路板和液晶屏框架间涂上一点502瞬间胶，等待10s，胶水干后，重新将线路板装入外壳就行了。 **（王德沅）**

Q 有一台家用电脑使用了几年，最近发现键盘左边的“Shift”键时好时坏，用起来很不爽。于是拆开键盘，清洁键盘内的薄膜线路等元件，重新装好后，“Shift”键恢复正常。可没高兴多久，就发现X、S、W、2等按键不起作用了。怀疑刚才没装好，再重新拆装，同时再次清洁键盘、但反复多次都没用。现在只好新购一个键盘临时使用，可总是觉得没原来的顺手，不知原键盘能否修复？ （青海　杨一峰等）

A 一般都能修好。造成故障的主因有二：一是键盘薄膜线路（排线）与连接件接触不良，二是键盘某条薄膜线路断路。维修时，先拆卸键盘，检查薄膜线路与连接件的接触，如果存在可能造成接触不良的污垢或螺丝松动等情况，只要分别处理后就能解决问题。倘若接触没问题，那原因就是后者了。可取出薄膜印制线路，仔细检查与X、S、W、2等多个按键连接的公共线路，找到断路点（必要时可用表测量），用导电胶或6B铅笔涂覆，直至断点连通为止，然后待导电胶干后即可安装好键盘使用了。必须注意，清洁键盘时绝不能用砂布或小刀磨、刮薄膜线路，否则极易造成线路断裂而发生这种故障。 **（王德沅）**

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 我的一台笔记本电脑，鼠标偶尔会失灵，重新插拔后往往就好了，但是过一段时间后又得重插。怀疑USB插口接触不良，但是换插到另一个插口也一样，有人说是主板或驱动故障，也有说是USB插口的问题，不知故障究竟何在，如何维修？ （黑龙江 庄国强）

A 这种故障一般跟主板和驱动无关，通常是鼠标接触不良或鼠标断线所致。可以先插入U盘试机，如果使用正常，说明USB插口没问题。再看鼠标插头是否松动，在排除与USB插口接触不良的可能后，往往就是鼠标连线内芯线断路所致。鼠标的引线大都较细，经过频繁操作，使用日久后极易造成部分芯断线，由于故障初期芯线时断时续，所以颇具迷惑、隐蔽性。只要重新焊好鼠标连线就能排除故障。 **（王德沅）**

Q 新购一台Android4.0系统的某牌10 .1英寸平板电脑，感觉许多功能的效果还不错，就是音量不够大。尤其是播放MP3音乐时声音太小，即使将面板或机壳右侧的音量键钮调到最大效果仍不明显，不知能否在不改变电路的情况下，将声音调大？ （湖南 马鸿维）

A 该机的音量确实较小，此系电路设计问题，要想通过改变电路来提高音量甚为麻烦。但是在不改变电路的前提下，提高音量仍有潜力可挖。具体方法如下：一是触按“设置” 键，进入设置界面，再按声音→音量→音乐、视频、游戏……→将滑钮拉至右端最大处，最后点“确定”即可，二是在播放MP3等音乐时，在界面上触按“设置” 键，进入设置界面，再按音效→用户→调节各频段增益，使频率均衡在满足基本要求的同时，音量也会得到较大提升。 **（王德沅）**

Q 我有一部爱华（AIWA）牌CR-AS09型小收音机，近来发现扬声器声音比以前小了很多，可耳机声音很正常。经测试扬声器没问题，由于没有图纸，不知从哪儿下手？希望贵刊能够帮助我解决这个问题，谢谢。 （北京 许能达）

A 如果确认扬声器正常，那么故障一般是耳机－扬声器（SP-HP）开关电路或扬声器功放电路所致。该机音频功放采用8脚扁平封装的集成电路2076，由SP-HP开关转换耳机、扬声器的连接，维修时首先检查SP-HP开关，看是否接触不良（这个可能性居大）。如果没问题，就再查2076输出至扬声器的电路。必须指出，测试扬声器不能仅凭万用表测量音圈通或会发出“喀啦”声就认为无问题，有些故障，如音圈受阻或受潮等难以这样测出，应连接音频或与同类扬声器比较后才能作出判断。 **（王德沅）**

Q 一台电脑的宏基3D光学鼠标最近失灵了，拆卸鼠标，检查后确认是引线内芯线断路所致。焊脱引线，剪去断路段再重新焊接时，却发现没记下原引线排序，于是上网查找资料，按一般鼠标连接，即：红－VDD，白－DATA-，绿－DATA+，黑－GND。但是该鼠标印制电路板上没标注DATA-/+，只有DATA和CLCK，我正反连接都试过，结果都不行，这是何故，怎么解决？ （浙江 霍晓明）

A 这种故障是连接错误所致。有些电脑鼠标的连接与大多数产品不同，如果按照典型连接就不能正常工作，你的鼠标就在其列。该鼠标标注的DATA和CLCK分别对应于常规的DATA-和DATA+，而且引线的色标定义也不同，实际可按下述关系连接即可：红－DATA、白－VDD、绿－CLCK、黑－GND。 **（王德沅）**

Q 一台立体声有源音箱，最近突然左、右声道均无输出，只有重低音。该机的立体声功放是由集成电路TEA2025B等组成，我查找了多种书刊，也上网搜索过，但是都没找到该IC的相关资料，特请贵刊帮助，希望介绍一下TEA2025B各引脚的功能和维修要领。 （湖北 刘铭）

A TEA2025B是2×2W立体声音频功放集成电路，可组成立体声功放电路，也可连接成桥式功放，其各引脚功能如下表所示（双列直插封装）。对于功放无声，维修时先测量TEA2025B的9脚电源电压，如不正常，说明电源或供电线路有问题。倘若电压正常，就检查IC引脚及其外围元器件是否脱焊或损坏，如可排除它们的问题，一般就是集成电路损坏了。 **（王德沅）**

引脚号	英文符号	功能说明	引脚号	英文符号	功能说明
1	BRIDGE	桥接模式	9	+VS	电源＋
2	OUT2	输出端2	10	OUT1	输出端1
3	BOOT2	自举2	11	BOOT1	自举1
4	GND	地	12	GND	地
5	GND	地	13	GND	地
6	FEEDBACK	反馈端2	14	FEEDBACK	反馈端1
7	IN2	输入2	15	IN1	输入1
8	SVR	电源纹波抑制	16	GND	地

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 我有一台杂牌DVD影碟机，最近不能开机了，拆机检查，用电笔动了下电源电路中的一个电阻，就能开机工作了。但是关机后再开机又不能启动了，再用电笔动一下又会开机，测量该电阻阻值正常（1MΩ左右），也无虚焊，这是什么回事，怎么修复？（辽宁 王军）

A 造成这种故障的主要原因有两种可能，一是该电阻（估计为启动电阻）或周边受牵连的元件（如变压器等）虚焊，可重新焊接良好即可。值得注意的是，有些虚焊点十分隐蔽，肉眼不易发现，必要时可借助放大镜和万用表进行检查。二是启动电阻变值，使启动电流不足，用电笔接触它相当于给其注入一定脉冲电压，从而启动电源。对此，可以调换电阻或在原电阻上并联一个同阻值的电阻即可排除故障。（王德沅）

Q 有一正牌8G闪盘，购来后当即存储了多个大小不等的文件，写入后曾从中复制了三四个文件到电脑硬盘，结果一切正常。但是1个多月后想提取一些文件，却发现有些文件打不开，提示文件已损坏，尤其以10M以上的RAR、ZIP等格式的压缩文件为多，想将闪盘格式化，但这样做全部资料就没了，真急人啊，这是闪盘的问题吗，不知能否解决？（湖北 闵苏富）

A 一般正牌闪盘出现这种故障的可能性较小，问题大多是电脑USB传输速度过慢所致。所以，如果电脑没有USB2.0功能，可安装PCI-USB转换板来解决，倘若是USB→HUB速度慢，应该调换或不用，另外有些USB延长线也是速度瓶颈，可调换试之。如果解决了速度问题但文件仍无法读出，可上网搜索“U盘文件提取软件”，提取文件后再格式化，然后重新存储文件就不会出现这种问题了。（王德沅）

Q 一台上海博品DSM－0101型全能电饭煲，接通电源后，8个定时指示灯和煮饭、保温等其他指示灯都会亮，但就是不加热。反复检查无济于事，测量发热盘两端电阻140Ω左右，不知是否正常？（上海 苏澳）

A 这是台350W的电子控制电饭煲，发热盘电阻140Ω左右是正常的。若实测电热盘两端电阻正常，且无连接松动、断线等，那么造成故障的主要原因就是电源继电器脱焊或损坏。由于继电器不动作，电源无法加到发热盘，所以电饭煲不能加热。检修时，可先仔细查看继电器的引脚和印制板的焊点，找到脱焊点，清除引脚和印制电路上的污垢，再重新焊好就可排除故障，如果无脱焊、虚焊，那就是继电器损坏，可拆下修理或换新件。实践中通常以脱焊、虚焊为多见，有些虚焊点不易察觉，务必要仔细检查。（王德沅）

Q 有一台品牌DVD视盘播放机，其开关电源中的2.2MΩ/1/2W启动电阻多次被烧坏，后来换成2.2MΩ/1W的电阻还是会损坏，该机电源部分由8脚集成块RM6203（亚成微公司）为核心组成，不知原因究竟何在，怎么排除故障？（河南 李海涛）

A RM6203的1脚（OB端）启动时电流仅几百微安，启动静态电流为50～80μA，功耗为1W的电阻应该完全能承受，损坏的原因主要有两种可能，一是电阻本身质量差，这对高阻值电阻而言较常见，只要调换优质电阻就可解决。此外也可用两个1MΩ/0.5W左右的电阻串联后使用，二是电阻或其引脚、线路与地绝缘不良，经常产生放电、打火而被烧坏。通常第一种可能性比较大。（王德沅）

Q 一部智能手机不慎掉落在水桶里，迅速捞出，并关机，擦除手机机壳表面的水渍，晾晒一天后开机，竟然还能通话，但是发现扬声器的声音很轻并且沙哑失真，这是为什么，怎样解决？（内蒙 江钧韶等）

A 现在一般手机机壳的密封性大都不错，但是话筒、扬声器、USB插口等并不密封，与外界是相通的（扬声器等通常有丝网遮挡尘土杂质进入），手机掉落水里，水分往往先通过话筒、扬声器、USB插口等进入机内，首先遭受水分侵蚀的就是这些元器件。如果水进入扬声器或话筒，对于动圈式扬声器或话筒，会使其音圈和磁体的间隙沾上水分，导致音圈动作受阻，从而造成音轻且沙哑失真。这种水分通常极难在短时间内挥发掉，以后即使干了，很可能会留有杂质污垢，也将影响效果，所以应及时拆卸手机维修，用脱脂棉球或吸水纸吸干扬声器音圈里的水分，然后让机芯自然晾干，一两天后就可试机、使用了。（王德沅）

Q 有一台美的YD30GB型豪华微电脑电饭煲，通电煮饭时，按下按钮，有时一切正常，能煮熟饭，有时则半小时过去没有动静，水还是凉的。检查发现，按动“开始/关”大按钮，其指示灯光忽隐忽现，怀疑该开关不良，费了很大的劲才拆开电饭煲，但在拆卸了控制电路板支架后，还是没能拆下电路板，无法检修，不知何故，怎样解决？（云南 徐理鲁）

A 该“开始/关”按钮是带指示灯的电源控制开关，故障是指示灯接触不良所致，其开关一般是正常的。由于指示灯接触不良，按动时灯光忽隐忽现，用户容易误判，若在没开通电源时误认为已接通，电饭煲就不会工作，饭当然煮不熟了。只要排除接触不良，使按动按钮时，指示灯亮、暗明确，这个问题也就迎刃而解了。拆卸时，必须拆出“内锅”后，才能拆下控制电路板，对按钮电路进行检修。（王德沅）

无线电

2012年合订本（下）

《无线电》编辑部　编

人民邮电出版社
北　京

PDG

无线电

1955年创刊　www.radio.com.cn

2012年合订本

下

《无线电》编辑部 编

本书附赠光盘　精选电子套件演示视频
单片机源程序、印制电路板图等丰富资料

2012年第7期～第12期

特别策划　创意制作　实用电路　玩转单片机　音频应用　我的实验室　广播爱好者　初学者园地　维修帮手

TECSUN
中 国 驰 名 商 标

享受广播　欣赏音乐
www.tecsun.com.cn

德生数码音频播放器

A6

A3

A8

A1

德生淘宝店：http://best-radio.taobao.com

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

欢迎订阅 全彩印刷 单期定价：15元 全年定价：180元

不一样的科普杂志
不一样的精彩内容

我们告诉电子爱好者：

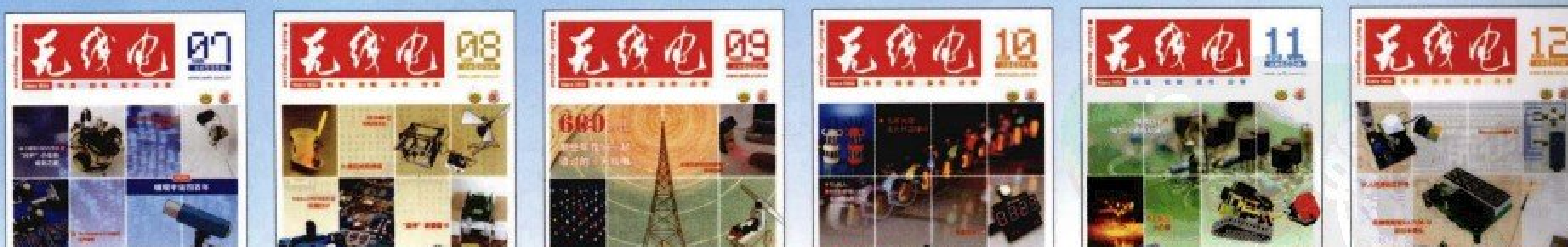
学什么、**用**什么、
玩什么、**怎**么玩……

邮发代号：2-75
国外代号：M106

一本与现代电子技术共成长的科普杂志
一本倡导动手实践与互动分享的优秀杂志
一本让几代中国电子人才受益的权威杂志

订阅杂志，期期有礼

一本关注电子爱好者和业内人士的兴趣杂志



杂志订阅方式：

1. 各地邮局均可订阅（收订热线：11185）
2. 汇款到杂志社邮购
   汇款地址：北京市东城区崇文夕照寺街14号A座，收款人：《无线电》杂志，邮编：100061
   （请务必注明您的姓名、地址、邮编、电话及购买内容）
3. 网上购买：（1）邮政网上订阅：bk.chinapost.com.cn（客服电话：400-6611185）
   （2）淘宝代理店：boqu.taobao.com（主营杂志、图书及杂志社的周边产品）
   （3）卓越网：www.amazon.cn（登陆卓越网→搜索无线电杂志→购买）
4. 到社直接订阅。咨询电话：01067134361或67161471（工作时间：周一至周五，早8：00－17：00）
5. 电话订阅：拨打116114，按“0”键转人工服务进行订阅，上门服务（仅限北京）

ISBN 978-7-115-30494-0

定价：52.00元（附光盘）

图书在版编目（CIP）数据

《无线电》2012年合订本. 下 / 《无线电》编辑部编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2013.2
ISBN 978-7-115-30494-0

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①无… Ⅲ. ①无线电技术—2012—丛刊 Ⅳ. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第311884号

内 容 提 要

《无线电》2012 年合订本（下）囊括了《无线电》杂志 2012 年第 7～12 期所有栏目的全部内容，并经过了再次加工整理，按期号、栏目、专题等重新分类编排，以方便读者阅读。

随书附赠的光盘中收录了精选的电子制作项目演示视频，还收录了与文章相关的单片机源程序、印制电路板等资料。

本书内容信息量大，涉及电子技术广泛，文章精炼，技巧经验丰富，实用性强，适合广大电子爱好者、电子技术人员及相关专业师生阅读。

《无线电》2012 年合订本（下）

◆ 编　　《无线电》编辑部
　责任编辑　房　桦　周　明

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市崇文区夕照寺街 14 号
　邮编　100061　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
　网址　http://www.ptpress.com.cn
　北京新华印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
　印张：34.75
　字数：1 077 千字　　2013 年 2 月第 1 版
　印数：1- 10 000 册　　2013 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-30494-0

定价：52.00 元（附光盘）

读者服务热线：(010)67132837　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154
广告经营许可证：京崇工商广字第 **0021** 号